

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

#### Tables interactives et coopérative état de l'art et implémentation

Glisse, Damien

*Award date:*  
2011

*Awarding institution:*  
Université de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur  
Faculté d'informatique

Année académique 2010-2011

# Tables interactives et coopératives : état de l'art et implémentation

Damien Glisse

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de master en Sciences Informatiques**

## Résumé

Depuis une vingtaine d'années, des recherches sont effectuées sur les tables interactives et coopératives. Celles-ci ouvrent de nouvelles perspectives, notamment en termes d'interactions et de travail coopératif. Ce mémoire a pour but, dans une première partie, de présenter un état de l'art des tables interactives et coopératives. Après un bref historique des recherches, les composants matériels et logiciels des tables ainsi que les Frameworks de développement sont détaillés. Les avantages et utilisations des tables interactives et coopératives sont discutés. Les problèmes liés à l'utilisation de ces tables sont également traités. La deuxième partie du travail décrit la réalisation d'une table interactive et coopérative pour laquelle un jeu de société a été adapté. Une évaluation de cette table et du jeu a été faite et les résultats sont exposés.

**Mots-clés :** Interaction Homme-Machine, Table interactive et coopérative, Travail coopératif assisté par ordinateur, Interface utilisateur naturelle, Interface utilisateur tangible, Multi-Touch, Frustrated Total Internal Reflection, Jeu sur table interactive et coopérative.

## Abstract

For about twenty years, researches are made on cooperative tabletops. These open new perspectives, in particular in terms of interactions and cooperative work. First, the report provides the state of the art of cooperative tabletops. After a brief history of the researches, the hardware and the software of tabletops as well as Frameworks of development are detailed. The advantages and the uses of cooperative tabletops are discussed. The problems connected to the use of these tabletops are also treated. The second part of the work describes the realization of a cooperative tabletop for which a traditional board game has been adapted. An evaluation of this tabletop and the game has been made and the results are exposed.

**Keywords :** Human-Computer Interaction, Cooperative Tabletop, Computer Supported Cooperative Work, Natural User Interface, Tangible User Interface, Multi-Touch, Frustrated Total Internal Reflection, Tabletop game.

# Avant-propos

---

Je voudrais tout d'abord remercier le Professeur M. Noirhomme d'avoir accepté d'être la promotrice de ce mémoire. Je lui suis reconnaissante pour le temps qu'elle m'a accordé ainsi que pour ses conseils.

Merci aux professeurs, assistants, chercheurs et autres membres du personnel de la Faculté d'Informatique des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur pour leur participation au test de la table interactive et coopérative et du jeu.

Je tiens également à remercier mes proches et plus particulièrement mes parents pour leurs encouragements notamment dans la poursuite d'études universitaires.

Je remercie mon père pour ses conseils qui m'ont été très précieux lors de la réalisation de la table interactive et coopérative.

Je souhaite remercier ma mère pour son soutien et ses conseils avisés.

Enfin, je tiens à adresser un remerciement particulier à ma copine, Rachel, pour son soutien et ses encouragements tout au long de mes études. Sa présence à mes côtés m'a été plus qu'indispensable.

# Table des matières

---

Avant-propos.....	3
Table des matières .....	4
Table des figures.....	9
Introduction.....	14
Partie 1 : Etat de l’art.....	16
1 Historique.....	16
2 Technologies matérielles .....	21
2.1 Périphérique de sortie .....	21
2.1.1 Projection avant .....	22
2.1.2 Projection arrière .....	23
Projecteurs .....	23
Ecrans .....	24
2.2 Périphérique d’entrée .....	25
2.2.1 Electrique.....	26
Résistive .....	26
Capacitive .....	26
Périphérique de sortie .....	28
2.2.2 Acoustique.....	28
Périphérique de sortie .....	28
2.2.3 Optique.....	29
Frustrated Total Internal Reflection (FTIR) .....	29
Diffused Illumination (DI).....	31
Diffused Surface Illumination (DSI) .....	32
Laser Light Plane (LLP).....	33
ThinSight .....	34
Autres technologies .....	35
Périphérique de sortie .....	36
3 Technologies logicielles.....	37
3.1 Communication matériel – logiciel.....	37
3.1.1 Périphérique d’entrée .....	37
Système d’exploitation .....	37
Protocole Tangible User Interface Object.....	38

Périphériques de type électrique et acoustique.....	38
Périphériques optiques .....	38
Gestes.....	39
3.1.2 Périphérique de sortie.....	40
3.2 Frameworks de développement.....	40
3.2.1 Caractéristiques.....	40
3.2.2 Principaux Frameworks .....	41
MT4j .....	41
Surface SDK .....	42
Miria .....	42
PyMT .....	42
libTISCH .....	42
GestureWorks .....	42
4 Avantages et utilisations des tables.....	44
4.1 Nouvelles interactions et nouvelles interfaces utilisateurs.....	44
4.1.1 Interfaces naturelles.....	45
4.1.2 Interfaces multimodales.....	46
4.1.3 Interfaces tangibles .....	47
4.2 Coopération .....	48
4.2.1 Zones personnelles et publiques.....	49
Zone personnelle .....	50
Zone de groupe .....	50
Zone de stockage .....	50
4.2.2 Partage d'éléments .....	50
Relâchement .....	51
Relocalisation .....	51
Réorientation .....	51
Redimensionnement.....	52
4.3 Surface de travail .....	52
4.4 Exemples d'utilisations .....	53
5 Problèmes liés aux tables.....	55
5.1 Orientation .....	55
5.1.1 Gestion de l'orientation .....	55
Orientation fixe .....	55

Orientation manuelle.....	55
Orientation automatique .....	56
5.1.2 Rôles de l'orientation .....	57
Compréhension.....	57
Coordination .....	57
Communication.....	58
5.1.3 Recommandations ergonomiques .....	58
Rotation libre .....	58
Technique de rotation.....	58
Maintien de la rotation de l'utilisateur.....	58
Signalement des rotations .....	58
Orientation automatique .....	59
5.2 Eléments textuels .....	59
5.2.1 Recommandations ergonomiques .....	60
5.3 Faible résolution du périphérique de sortie.....	61
5.3.1 Recommandation ergonomique .....	62
5.3.2 Solutions.....	62
Projecteurs multiples.....	62
Extension de la zone de travail .....	63
5.4 Taille de la surface d'interaction .....	65
5.4.1 Visibilité .....	65
5.4.2 Accessibilité physique.....	66
5.4.3 Collaboration .....	67
5.5 Saisie de texte.....	68
5.5.1 Caractéristiques attendues .....	68
Performance .....	68
Adaptation à l'environnement.....	68
Interactions simultanées.....	70
5.5.2 Saisies externes .....	70
Claviers physiques traditionnels .....	70
Claviers physiques mobiles .....	71
Reconnaissance vocale .....	71
5.5.3 Saisies sur écran .....	72
Reconnaissance d'écriture manuscrite .....	72

Alphabets gestuels .....	72
Claviers virtuels .....	73
5.5.4 Recommandation ergonomique .....	75
5.6 Occlusion .....	76
5.6.1 Manipulation à distance .....	76
5.6.2 Retour visuel.....	77
5.6.3 Eléments de petites tailles .....	78
5.6.4 Menus circulaires .....	79
5.7 Ergonomie physique .....	79
5.7.1 Posture de base .....	80
5.7.2 Critères pour rendre le poste de travail ergonomique .....	81
Hauteur du plan de travail .....	81
La durée du maintien .....	82
L'espace pour les membres inférieurs .....	82
Les caractéristiques visuelles que nécessite la tâche .....	83
Partie 2 : Implémentation .....	84
6 Réalisation d'une table interactive et coopérative.....	84
6.1 Périphérique d'entrée .....	84
6.1.1 Technologie FTIR .....	85
6.1.2 Plaque d'acrylique .....	85
6.1.3 LED infrarouges .....	86
6.1.4 Caméra infrarouge.....	87
Caractéristiques .....	87
Choix de la caméra.....	88
Extraction du filtre bloquant l'infrarouge .....	89
Ajout d'un filtre bloquant la lumière visible .....	90
6.2 Périphérique de sortie .....	90
6.2.1 Disposition du projecteur.....	90
6.2.2 Structure de la table .....	91
6.2.3 Surface de projection .....	92
6.2.4 Surface de couplage .....	92
6.2.5 Parois .....	93
6.2.6 Améliorations possibles.....	94
6.3 Composants logiciels .....	95



6.3.1 Périphérique de sortie.....	95
6.3.2 Périphérique d'entrée .....	95
6.3.3 Ajout de la reconnaissance d'objets tangibles.....	96
6.3.4 Schéma récapitulatif.....	97
7 Adaptation d'un jeu de société pour la table .....	98
7.1 Explication du jeu.....	98
7.2 Développement .....	100
7.3 Interfaces des différentes phases du jeu.....	101
7.3.1 Etape 1 - saisie des noms de joueur .....	101
7.3.2 Etape 2 – choix d'un carte de question .....	103
7.3.3 Etape 3 – Encodage des réponses .....	104
7.3.4 Etape 4 – Tri des réponses .....	106
7.3.5 Etape 5 – Paris sur les réponses .....	107
7.4 Remarques sur le développement sur table .....	109
8 Evaluation .....	110
8.1 Le test .....	110
8.2 Le questionnaire .....	110
8.3 Résultats .....	111
8.3.1 Profil utilisateur.....	111
8.3.2 Affirmations.....	112
Table interactive .....	112
Collaboration.....	113
Interactions avec la table .....	115
Utilisation du son .....	116
Déroulement du jeu.....	117
8.3.3 Avis et remarques des participants.....	120
Conclusion .....	121
Bibliographie.....	123
Annexes .....	131
A. Datasheet LED Siemens SFH485-3 .....	131
B. Schéma électrique du montage des LED .....	132
C. Règles du jeu Gambit 7 .....	133
D. Questionnaire utilisé pour l'évaluation .....	137

# Table des figures

---

Figure 1.1 : Première vision de Weiser pour la collaboration dans le paradigme de l'informatique ubiquitaire. Source : [Weiser, 1991, p. 95].....	17
Figure 1.2 : DigitalDesk de Wellner. Source : [Wellner, 1993, p. 89] .....	17
Figure 1.3 : Schéma du fonctionnement du DigitalDesk de Wellner. Source : [Wellner, 1993, p. 89] .	18
Figure 1.4 : Concept de l'ActiveDesk. Source : [Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995, p. 442].....	18
Figure 1.5 : Passage des interfaces graphiques traditionnelles vers les interfaces tangibles. Source : [Ishii & Ullmer, 1997, p. 2].....	18
Figure 1.6 : Table SmartSkin avec reconnaissance d'objets tangibles. Source : [Rekimoto, 2002, p. 117].....	19
Figure 1.7 : Exemple de « <i>fiducial marker</i> » (tag) collé sur un objet tangible afin qu'il soit reconnu par la reacTable. Source : [Jordà, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007, p. 143].....	19
Figure 1.8 : Table Microsoft Surface. Source : [Microsoft Corporation, 2008, p. 2] .....	20
Figure 1.9 : Table Microsoft Surface 2.0. Source : [Buxton, 2011].....	20
Figure 2.1 : Technologies pour périphérique de sortie des tables interactives. ....	22
Figure 2.2 : Schéma de la « projection avant ». ....	22
Figure 2.3 : Schéma de la « projection arrière » avec projecteur. ....	23
Figure 2.4 : Schéma de la « projection avant » avec écran. ....	24
Figure 2.5 : Technologies des surfaces "multi-touch" comme périphérique d'entrée .....	25
Figure 2.6 : Schéma de la technologie résistive. Source : [Schöning, et al., 2008, p. 3] .....	26
Figure 2.7 : Schéma de la technologie capacitive de surface. Source : [Schöning, et al., 2008, p. 3] ..	27
Figure 2.8 : Schéma de la technologie capacitive projetée. Source : [Schöning, et al., 2008, p. 4] .....	27
Figure 2.9 : Schéma de la technologie <i>Frustrated Total Internal Reflection</i> (FTIR). Source : [Schöning, et al., 2008, p. 5].....	30
Figure 2.10 : Schéma de la technique Front Diffused Illumination (Front-DI). Source : [Muller, 2008, p. 11].....	31
Figure 2.11 : Schéma de la technologie Rear Diffused Illumination (Rear DI). Source : [Muller, 2008, p. 10].....	32
Figure 2.12 : Schéma de la technologie Diffused Surface Illumination (DSI). Source : [Hušek, 2011, p. 4].....	33
Figure 2.13 : Schéma de la technologie Laser Light Plane (LLP). Source : [Hušek, 2011, p. 3].....	34
Figure 2.14 : Schéma de la technologie ThinSight. Source : [Hodges, Izadi, Butler, Rustemi, & Buxton, 2007, p. 262].....	34

Figure 2.15 : Schéma du prototype de Wang, Liu et Zhang utilisant des caméras situées aux quatre coins de la surface d'interaction. Source : [Wang, Liu, & Zhang, 2011, p. 967].....	35
Figure 4.1 : Schéma des trois zones (personnelle, groupe et stockage) d'une table interactive et coopérative. Source : [Scott & Carpendale, 2010, p. 376] .....	49
Figure 4.2 : Technique de partage d'un élément par relâchement. Source : [Morris, 2006, p. 16] .....	51
Figure 4.3 : Technique de partage d'un élément par relocalisation. Source : [Morris, 2006, p. 17] ....	51
Figure 4.4 : Technique de partage d'un élément par réorientation. Source : [Morris, 2006, p. 18].....	51
Figure 4.5 : Technique de partage d'un élément par redimensionnement. Source : [Morris, 2006, p. 18].....	52
Figure 4.6 : Table interactive et coopérative servant à la classification de documents papiers et électroniques. Source : [Müller-Tomfelde & O'Hara, 2010, p. 444] .....	52
Figure 4.7 : Virtual Desktop, table pour dessin assisté par ordinateur pour architectes. Source : [Safin, Boulanger, & Leclercq, 2005, p. 2] .....	53
Figure 4.8 : Schéma d'une table interactive et coopérative permettant le contrôle du trafic aérien. Source : [Conversy, Gaspard-Boulinc, Chatty, Valès, Dupré, & Ollagnon, 2011, p. 425] .....	53
Figure 4.9 : Application multimodale sur table interactive et coopérative permettant la communication entre un médecin et un patient atteint de surdité. Source : [Piper & Hollan, 2009, p. 286].....	54
Figure 4.10 : Réhabilitation des membres supérieurs à l'aide d'une table interactive. Source : [Annett, et al., 2009, p. 261].....	54
Figure 4.11 : Tri de documents sur table interactive et coopérative. Source : [Privault, O'Neill, Ciriza, & Renders, 2010, p. 472].....	54
Figure 5.1 : Orientation d'un élément de la table en fonction de l'orientation du doigt. Source: [Jinwook, Jong-gil, & Heedong, 2009, p. 467] .....	56
Figure 5.2 : Différents degrés de rotation d'un texte. Source: [Wigdor & Balakrishnan, 2005, p. 207]59	
Figure 5.3 : Six projecteurs comme périphérique de sortie. Source : [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 78].....	62
Figure 5.4 : Représentation de l'arrangement des images de six projecteurs avec recouvrements. Source : [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 84] .....	63
Figure 5.5 : Extension de la zone de travail avec écrans verticaux. Source : [Wigdor, Jiang, Forlines, Borkin, & Shen, 2009, p. 1242].....	63
Figure 5.6 : Extension de la zone de travail avec ordinateurs portables. Source : [Shen, Everitt, & Ryall, 2003, p. 2].....	64
Figure 5.7 : Extension de la zone de travail avec le monde réel. Source : [Rogers, Lim, & Hazlewood, 2006, p. 74].....	64
Figure 5.8 : Différents types de tables et leur diagonale de surface d'interaction. Source des données: [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 79] .....	65

Figure 5.9 : Récupération d'objets à distance (arc de sélection). Source : [Lee, Lee, Kim, & Kim, 2007, p. 127].....	66
Figure 5.10 : Récupération d'objets à distance (sélection des copies). Source : [Lee, Lee, Kim, & Kim, 2007, p. 127].....	67
Figure 5.11 : Alphabets gestuels (Graffiti au-dessus, Unistrokes en-dessous). Source : [Castellucci & MacKenzie, 2008, p. 305] .....	73
Figure 5.12 : Le mot "the" encodé sur le clavier gestuel <i>Swype</i> (QWERTY). Source : [Castellucci & MacKenzie, 2011, p. 1510] .....	74
Figure 5.13 : Le mot "finished" encodé sur le clavier gestuel <i>Cirrin</i> (circulaire). Source : [Mankoff & Abowd, 1998, p. 213] .....	74
Figure 5.14 : Occlusion sans interaction avec projection avant. Source : [Shen, et al., 2006, p. 42]....	76
Figure 5.15 : Sélection à distance d'une partie d'une image en évitant l'occlusion sur celle-ci. Source : [Shen, et al., 2006, p. 38].....	76
Figure 5.16 : Occlusion du retour visuel avec le doigt. Source : [Bachl, Tomitsch, Wimmer, & Grechenig, 2010, p. 3] .....	77
Figure 5.17 : Elargissement pour signaler l'interaction avec un élément. (sans élargissement à gauche et avec élargissement à droite). Source : [Shen, et al., Collaborative Tabletop Research and Evaluation, 2006, p. 116].....	77
Figure 5.18 : Les étapes du mécanisme <i>Shift</i> . (a) <i>Shift</i> détecte un problème d'occlusion; (b) <i>Shift</i> affiche une copie de la zone occultée avec un pointeur; (c) l'utilisateur bouge son doigt afin de sélectionner l'élément cible avec le pointeur; (d) l'utilisateur relâche son doigt et l'élément est sélectionné; (e) La zone de copie est enlevée. Source : [Vogel & Baudisch, 2007, p. 658] .....	78
Figure 5.19 : Menu circulaire sans occlusion. Source : [Brandl, Leitner, Seifried, Haller, Doray, & To, 2009, p. 3226].....	79
Figure 5.20 : Organigramme de la Régie Renault pour le choix de la posture de base. Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-2].....	80
Figure 5.21 : Hauteur du plan de travail en position debout. Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-8] .....	81
Figure 5.22 : Poste de travail permettant de travailler alternativement debout ou assis. Source : [Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, 2006, p. 12].....	82
Figure 5.23 : Espace libre pour les jambes sous la table de travail; suffisante pour 95 % des hommes (mesures en cm). Source : [Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, 2006, p. 5].....	83
Figure 5.24 : Champ de vision dans le plan sagittal (vertical). Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-6] .....	83
Figure 6.1 : Schéma de la technologie FTIR. Source : [Schöning, et al., 2008, p. 5] .....	85
Figure 6.2 : Polissage avec une ponceuse électrique des côtés de la plaque de Plexiglass.....	86
Figure 6.3 : Schéma du montage des LED dans le profilé aluminium en forme de «U».....	86
Figure 6.4 : Placement des LED tous les 1,5cm sur le profilé d'aluminium.....	87

Figure 6.5 : Les 126 LED infrarouges connectées autour de la plaque d'acrylique.....	87
Figure 6.6 : Démontage d'une webcam pour récupérer la fixation de l'objectif (pièce entourée sur l'image).....	89
Figure 6.7 : Les étapes réalisées pour changer l'objectif de la PS3Eye: (A) PS3Eye originale ; (B) Démontage complet de la PS3Eye ; (C) Montage de la nouvelle fixation objectif ; (D) Vissage du nouvel objectif ; (E) PS3Eye remontée avec le nouvel objectif.....	89
Figure 6.8 : Image prise avec la PS3Eye de la surface d'interaction FTIR : (A) Avec filtre bloquant l'infrarouge (PS3Eye originale) ; (B) Sans filtre bloquant l'infrarouge ; (C) Sans filtre bloquant l'infrarouge mais avec un filtre bloquant la lumière visible. ....	90
Figure 6.9 : Film argentique de photo utilisé comme filtre de lumière visible (partie « noircie »). ....	90
Figure 6.10 : Simulation avec le logiciel <i>SimProj</i> de la position du projecteur sous la surface d'interaction avec deux miroirs (vue de côté).....	91
Figure 6.11 : Modélisation 3D de la structure de la table. ....	91
Figure 6.12 : Structure métallique accueillant le projecteur, deux miroirs ainsi que la plaque d'acrylique avec toutes les LED. ....	92
Figure 6.13 : Positionnement de la surface de couplage. ....	92
Figure 6.14 : Application du silicone sur la feuille de papier calque à l'aide d'un rouleau de peinture. ....	92
Figure 6.15 : Intérieur de la table finalisée.....	93
Figure 6.16 : Extérieur de la table finalisée. ....	93
Figure 6.17 : Effet "fantôme" sur l'image projetée. ....	94
Figure 6.18 : Schéma récapitulatif des composants logiciels utilisés par la table : en bleu les composants nécessaires pour la gestion des interactions aux doigts et en vert, ceux nécessaire à la reconnaissance des objets tangibles. ....	97
Figure 7.1 : Diagramme d'état UML de l'adaptation du jeu Gambit 7 pour la table interactive et coopérative.....	99
Figure 7.2 : Interface de l'étape 1 - encodage des noms de joueur. ....	101
Figure 7.3 : Bouton d'aide du jeu Gambit7. ....	102
Figure 7.4 : Clavier de la table Microsoft Surface. Source : <a href="http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee804809(v=surface.10).aspx">http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee804809(v=surface.10).aspx</a> ....	102
Figure 7.5 : Clavier de l'iPhone. Source : <a href="http://www.apple.com">http://www.apple.com</a> .....	102
Figure 7.6 : Clavier virtuel tactile multi-utilisateurs pour l'encodage des noms de joueur. ....	103
Figure 7.7 : Interface de l'étape 2 - choix d'une carte de question.....	104
Figure 7.8 : Utilisation de caches réponses. ....	104
Figure 7.9 : Demande du placement de cache. ....	105
Figure 7.10 : Etape 3 - encodage des réponses.....	105

Figure 7.11 : Etape 4 - tri des réponses.....	106
Figure 7.12 : Etape 5 - paris sur les réponses.....	107
Figure 7.13 : Objets tangibles (jetons de paris) - A gauche le tag reconnu par reacTIVision et collé en-dessous de l'objet ; A droite vue du dessus avec l'étiquette de couleur. ....	108
Figure 7.14 : Objets tangibles sur la table avec retour visuel directement sous ceux-ci. ....	108
Figure 8.1 : Répartition de l'âge des participants au test.....	111
Figure 8.2 : Questions et résultats à propos de l'interaction avec la table (une donnée manquante pour la question 8). ....	112
Figure 8.3 : Questions et résultats concernant la collaboration (une donnée manquante pour la question 14).....	114
Figure 8.4 : Questions et résultats concernant l'interaction avec la table. ....	116
Figure 8.5 : Questions et résultats à propos de l'utilisation du son dans le jeu (une donnée manquante à la question 27 et 28). ....	117
Figure 8.6 : Questions et résultats sur le déroulement du jeu (une donnée manquante à la question 30, 31, 32 et 33).....	119

# Introduction

---

Dans notre environnement, nous utilisons quotidiennement des tables que ce soit pour travailler, pour discuter, pour jouer... Les tables interactives et coopératives sont, quant à elles, des tables « informatisées ». Elles ont pour but d'enrichir et d'améliorer les utilisations que l'on peut faire de tables traditionnelles pour un usage seul ou en groupe.

Ces tables interactives et coopératives diffèrent des ordinateurs traditionnels. En terme d'interactions, elles offrent à l'utilisateur la possibilité d'interagir directement sur le contenu à l'aide de doigts, de gestes et même parfois via des objets (interactions tangibles). Ces tables ont également la particularité de permettre l'interaction de plusieurs utilisateurs simultanément ouvrant la voie à des utilisations collaboratives.

Depuis une vingtaine d'années, tant dans le domaine de l'Interaction Homme -Machine (IHM) que dans celui du travail coopératif assisté par ordinateur (en anglais Computer Supported Cooperative Work ou CSCW), des recherches sont menées sur ces tables interactives et coopératives. De nouvelles technologies sont également apparues. Elles ont pour effet d'améliorer continuellement ces tables et de permettre de nouveaux usages.

Ce mémoire a pour but d'une part, de présenter un état de l'art des tables interactives et coopératives et d'autre part, de mettre en application certains points abordés dans cette première partie.

Nous commençons, au **chapitre 1**, par un bref historique des principaux faits qui ont marqué leur développement.

Nous poursuivons au **chapitre 2** par une analyse des technologies matérielles utilisées par ces tables.

Le **chapitre 3** reprend les différents composants logiciels utilisés ainsi que les Frameworks de développement adaptés à celles-ci.

Ensuite, le **chapitre 4** montre les avantages des tables interactives et coopératives ainsi que quelques exemples de leur utilisation dans des domaines variés.

Nous terminons cette première partie par le **chapitre 5** qui traite des différents problèmes liés à l'utilisation des tables tout en indiquant des solutions pour les résoudre ou les atténuer.

Dans la partie implémentation, nous détaillons d'abord au **chapitre 6** la réalisation d'une table interactive et coopérative.

Le **chapitre 7** est, quant à lui, consacré à l'adaptation d'un jeu de société pour la table développée.

Dans le **chapitre 8**, nous procédons à l'évaluation de la table et du jeu auprès de plusieurs utilisateurs.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une **conclusion**.



# Partie 1 : Etat de l'art

---

## 1 Historique

Cette section est inspirée de [Buxton, 2011], [Croné & Tove, 2001], [Kunz & Fjeld, 2010], [Mills, 2007], [Müller-Tomfelde & Fjeld, 2010] et [Müller-Tomfelde & O'Hara, 2010].

Pour débiter la partie état de l'art des tables interactives et coopératives, voici un historique des principaux faits qui ont marqué leur développement. Cet historique a pour but de fournir des repères importants sur les moments-clés de la recherche scientifique.

### 1980 - L'ordinateur personnel

C'est dans les années 1980 que l'ordinateur personnel est adopté massivement. L'ordinateur devient un élément incontournable du bureau de travail et commence à s'intégrer dans la vie de tous les jours. A cette époque, l'utilisateur interagit avec l'ordinateur à l'aide du couple souris-clavier et il visualise l'information sur un écran placé à la verticale. On est encore assez éloigné du concept de table interactive et coopérative.

### 1982 - Special Interest Group on Computer-Human Interaction

En 1982, l'*Association for Computing Machinery* (ACM) crée un pôle d'intérêt commun nommé *Special Interest Group on Computer-Human Interaction* (SIGCHI)<sup>1</sup>. Comme son nom l'indique, ce pôle regroupe les professionnels, les universitaires et les étudiants qui ont un intérêt pour les Interactions Homme-Machine (IHM). C'est notamment dans ce domaine des Interactions Homme-Machine que de nombreuses recherches sur les tables interactives et coopératives sont réalisées.

### 1984 - Computer Supported Cooperative Work

Un second domaine dans lequel les tables interactives et coopératives sont étudiées est celui du travail coopératif sur ordinateur. Ainsi, en 1984, même si les tables interactives et coopératives ne sont pas encore apparues, Greif et Cashman organisent un workshop multidisciplinaire intitulé *Computer Supported Cooperative Work*. Celui-ci regroupe des chercheurs afin d'examiner comment les ordinateurs peuvent être utilisés plus efficacement pour assister les utilisateurs dans leurs tâches de travail. Actuellement, l'*Association for Computing Machinery* (ACM) supporte cette conférence<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.sigchi.org/> (Consulté le 15/08/2011)

<sup>2</sup> <http://www.cscw2012.org/> (Consulté le 15/08/2011)

## 1991 - L'informatique ubiquitaire

Dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine, en 1991, Weiser [1991] introduit le paradigme de l'informatique ubiquitaire (en anglais Ubiquitous Computing, ou Ubicomp). Ce paradigme a pour vision l'omniprésence des ordinateurs dans les objets et l'environnement quotidien. Cependant, ceux-ci doivent être « invisibles » pour l'utilisateur et ce dernier ne doit pas se rendre compte qu'il utilise un ordinateur.

Dans un premier temps, la vision de Weiser pour la collaboration passe par l'utilisation d'un écran vertical dont l'interaction avec celui-ci se fait soit par l'utilisation d'une « craie » électronique ou grâce à de petits appareils mobiles (Figure 1.1). Un peu plus tard, fin des années 90, les écrans verticaux apparaissent dans la vision de l'informatique ubiquitaire. Ceci va notamment influencer et initier des recherches sur les tables interactives et coopératives.

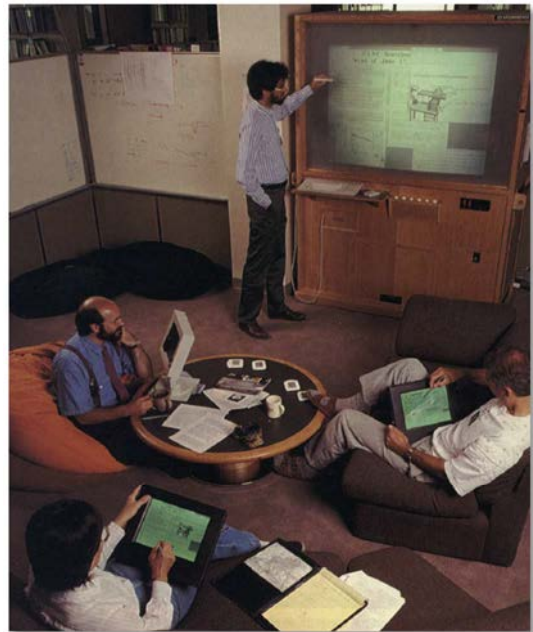


Figure 1.1 : Première vision de Weiser pour la collaboration dans le paradigme de l'informatique ubiquitaire. Source : [Weiser, 1991, p. 95]

## 1991- DigitalDesk

En 1991, Wellner [1991] décrit dans ses travaux un bureau électronique qu'il nomme *DigitalDesk* (Figure 1.2). Il veut donner à un bureau traditionnel, des propriétés électroniques et fusionner le bureau traditionnel avec le bureau électronique. Pour cela, il utilise une caméra placée au-dessus du bureau pour détecter les interactions de l'utilisateur ainsi que pour numériser des documents papiers. Un projecteur est également placé au-dessus du bureau afin de projeter des informations électroniques sur la surface d'interaction. On retrouve donc dans ce prototype, les composants actuels de certaines tables interactives et coopératives. Ici, dans la vision de Wellner, le *DigitalDesk* dont le schéma de fonctionnement est présenté à la Figure 1.3, n'est pas encore une surface de travail collaborative mais il s'agit d'une des premières tables interactives.

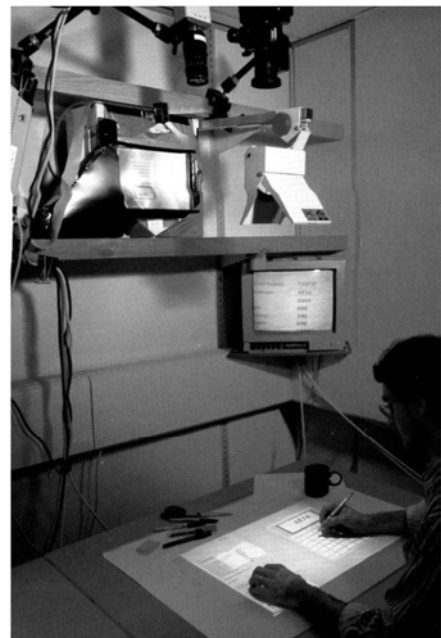


Figure 1.2 : DigitalDesk de Wellner. Source : [Wellner, 1993, p. 89]

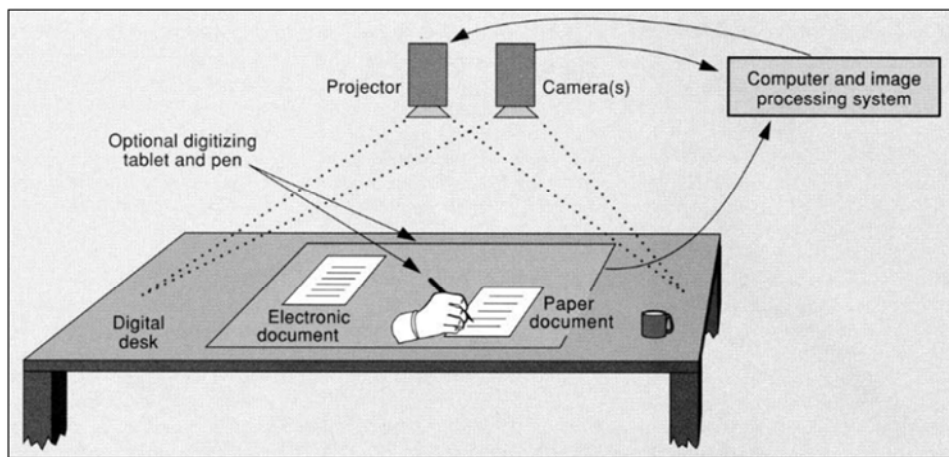


Figure 1.3 : Schéma du fonctionnement du DigitalDesk de Wellner.

Source : [Wellner, 1993, p. 89]

### 1995 - Active Desk

Fitzmaurice, Ishii et Buxton [1995] introduisent en 1995 le concept de Graspable User Interface (en référence à Graphical User Interface). Celui-ci permet de contrôler des objets électroniques ou virtuels à travers des objets physiques. Ils appellent ces objets des « bricks » et sont utilisables sur une surface horizontale qu'ils nomment « ActiveDesk » (Figure 1.4). On se rapproche, avec ce concept, des interfaces tangibles.

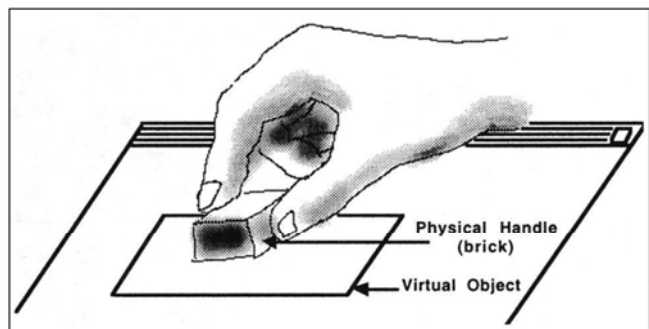


Figure 1.4 : Concept de l'ActiveDesk.

Source : [Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995, p. 442]

### 1997 - Tangible User Interfaces

En 1997, les Tangible User Interfaces (TUI, ou en français Interfaces Utilisateur Tangibles) sont formalisées par Ishii et Ullmer [1997]. Ce nouveau concept des TUI, dans le cadre des tables interactives, consiste à interagir avec la table au moyen d'objets physiques (tangibles) qui sont disposés sur celle-ci et qui ont une sémantique précise. Les TUI font donc le lien entre les objets physiques de la vie de tous les jours et les informations représentées de manière électronique. Avec les interfaces tangibles, l'environnement physique peut devenir l'interface utilisateur (Figure 1.5).

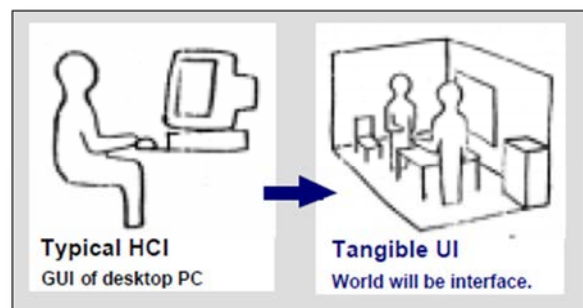


Figure 1.5 : Passage des interfaces graphiques traditionnelles vers les interfaces tangibles.

Source : [Ishii & Ullmer, 1997, p. 2]

## 2001 – DiamondTouch

Dietz et Leigh [2001] du Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL) développent, en 2001, une table interactive et coopérative, la *DiamondTouch*. Il s'agit de la première table interactive réellement multiutilisateur. Outre le fait qu'elle permet l'interaction de plusieurs utilisateurs simultanément, elle a la particularité de pouvoir déterminer quel utilisateur réalise quelle interaction (identification des utilisateurs). Cette table a été distribuée dans différentes universités auprès de chercheurs afin de réaliser des recherches et de développer des applications pour celle-ci. Ainsi, elle est citée dans plusieurs travaux scientifiques.

## 2002 – SmartSkin

En 2002, Rekimoto [2002] conçoit la table *SmartSkin* qui permet, comme la *DiamondTouch*, l'interaction aux doigts de plusieurs utilisateurs tout en fournissant en plus, la reconnaissance d'objets tangibles (Figure 1.6). Il s'agit d'une des premières tables interactives et coopératives qui supporte à la fois les interfaces tangibles et l'interaction aux doigts de plusieurs utilisateurs simultanément. Toutefois, les objets tangibles ne peuvent être reconnus par la table que lorsqu'ils sont touchés par l'utilisateur (création d'un contact électrique).

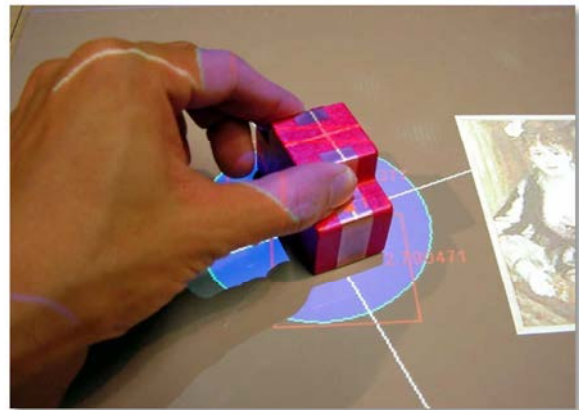


Figure 1.6 : Table SmartSkin avec reconnaissance d'objets tangibles.

Source : [Rekimoto, 2002, p. 117]

## 2003 à 2007 – reacTable

Jordà et al. [2007] commencent en 2003 un projet de table interactive et coopérative musicale. En 2007, ils finalisent ce projet et présentent une table capable à la fois d'identifier des objets tangibles et d'accepter des interactions aux doigts de plusieurs utilisateurs simultanément. Pour gérer les objets tangibles, ils collent sur ceux-ci, des « *fiducial markers* » (tags ou étiquettes). Une caméra associée à un logiciel de traitement d'image permet de reconnaître ces tags et en faire le suivi (coordonnées X-Y) en temps réel.



Figure 1.7 : Exemple de « *fiducial marker* » (tag) collé sur un objet tangible afin qu'il soit reconnu par la reacTable.

Source : [Jordà, Geiger, Alonso, & Kaltenbrunner, 2007, p. 143]

## 2005 – FTIR

En 2005, Han [2005] présente une technologie de surface tactile, assez simple de fabrication, permettant la reconnaissance de plusieurs doigts simultanément (« multi-touch »). Celle-ci est basée sur la réflexion totale frustrée (*Frustrated Total Internal Reflection* ou FTIR en anglais) de rayons lumineux infrarouges lorsque l'utilisateur touche la surface d'interaction avec son doigt (cette

technique sera expliquée en détails au point 2.2.3). La technologie ne nécessitant pas de fabrication industrielle, étant simple et peu coûteuse à mettre en place, va être souvent utilisée par les chercheurs pour créer des tables interactives et coopératives et ainsi permettre différentes recherches scientifiques.

### 2008 – Microsoft Surface

La société Microsoft [2008] commercialise en 2008 sa première table interactive et coopérative (Figure 1.8). Cette commercialisation est l'aboutissement d'un projet développé depuis 2001. Cette table peut aussi bien gérer l'interaction aux doigts que l'interaction avec des objets tangibles. Des caméras disposées sous la table permettent de détecter les interactions. Un projecteur situé également sous la table s'occupe de l'affichage. Cette table est vendue un peu plus de dix mille euros.



Figure 1.8 : Table Microsoft Surface.  
Source : [Microsoft Corporation, 2008, p. 2]

### 2011 – Microsoft Surface 2.0

En 2011, la société Microsoft met en vente une nouvelle version de sa table interactive et coopérative (Microsoft Surface 2.0, Figure 1.9 ). Pour cette nouvelle version, Microsoft a développé la technologie PixelSense qui a la particularité de pouvoir gérer l'interaction aux doigts ainsi que les objets tangibles grâce à des optosenseurs rétro-réfléchissants<sup>1</sup> qui sont placés directement derrière un écran LCD (plus de détails au point 2.2.3). L'utilisation de cette technologie offre l'avantage d'avoir une table très fine (un peu plus de 10cm d'épaisseur) tout en permettant l'interaction avec les doigts et les objets tangibles. De plus, l'utilisation d'un écran LCD, par rapport au projecteur de la première version de la table, permet une meilleure résolution d'affichage.



Figure 1.9 : Table Microsoft Surface 2.0.  
Source : [Buxton, 2011]

<sup>1</sup> retro-reflective optosensor en anglais.

## 2 Technologies matérielles

Selon Besacier et al. [2007, p. 1], « *les tables interactives, ou tabletop (par référence au desktop et au laptop), sont des ordinateurs se présentant sous la forme d'une surface horizontale, tenant lieu de périphérique d'entrée et de sortie, partagée par plusieurs utilisateurs* ».

Il est important d'étudier les technologies utilisées comme périphérique d'entrée ou de sortie par les tables interactives car toutes n'ont pas les mêmes caractéristiques. Certaines proposent des fonctionnalités supplémentaires (par ex. la reconnaissance d'objets tangibles en entrée), alors que d'autres apportent parfois quelques problèmes (par ex. l'occlusion de l'écran en sortie lors de l'interaction avec la table) dont il faut tenir compte lors de l'utilisation des tables interactives.

Ce chapitre aborde donc les différentes technologies matérielles actuellement utilisées d'une part, comme périphérique d'entrée et d'autre part, comme périphérique de sortie dans les tables interactives. Les technologies utilisées en périphérique de sortie seront d'abord présentées afin de pouvoir les associer par la suite aux technologies en entrée car toutes ne sont pas compatibles entre elles.

### 2.1 Périphérique de sortie

Cette section est inspirée de [Kunz & Fjeld, 2010] et [NUI Group Authors, 2009].

La table interactive en tant que périphérique de sortie a pour but de communiquer sur la table de l'information de manière visuelle à l'utilisateur<sup>1</sup>. Pour cela, plusieurs technologies sont envisageables et peuvent être classées en deux catégories que sont la « projection avant » et la « projection arrière » (Figure 2.1).

---

<sup>1</sup> Il est possible d'avoir d'autres périphériques de sortie supplémentaires que le retour visuel pour la table interactive (par ex. périphérique sonore). Le retour visuel est le périphérique de sortie principal d'une table interactive et sera le seul pris en compte dans ce chapitre. Les périphériques additionnels seront examinés au point 4.1.2 avec les interfaces multimodales.



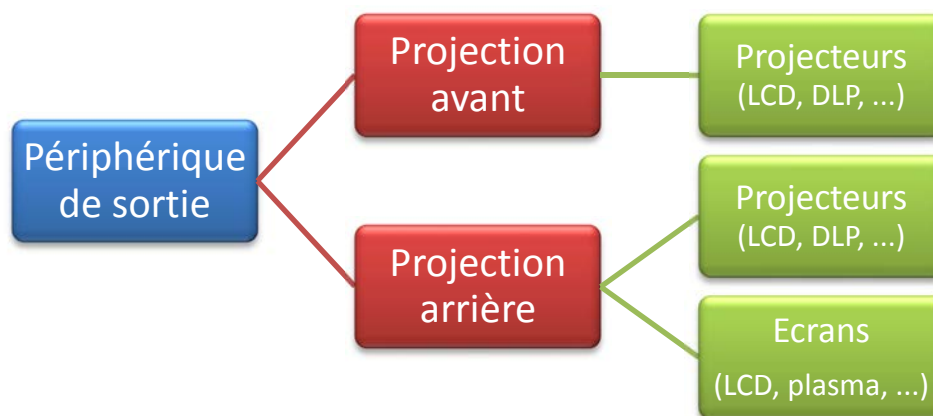


Figure 2.1 : Technologies pour périphérique de sortie des tables interactives.

### 2.1.1 Projection avant

La première catégorie « projection avant » regroupe les technologies qui sont disposées du même côté que l'utilisateur par rapport à la surface d'interaction, au-dessus de la table (Figure 2.2).

Dans cette catégorie, ne se retrouvent que les projecteurs qui eux peuvent être de technologies différentes (LCD, DLP, etc.). En général, le projecteur est placé au-dessus de la table et projette directement sur celle-ci.

L'avantage de cette solution est qu'en ayant mis le projecteur au-dessus de la table, il reste de la place libre en-dessous de celle-ci. Cela peut notamment permettre aux utilisateurs de disposer de cette place libre pour y mettre leurs jambes et éventuellement s'asseoir à la table. Ce point positif concernant l'ergonomie physique des tables est abordé à la section 5.7.

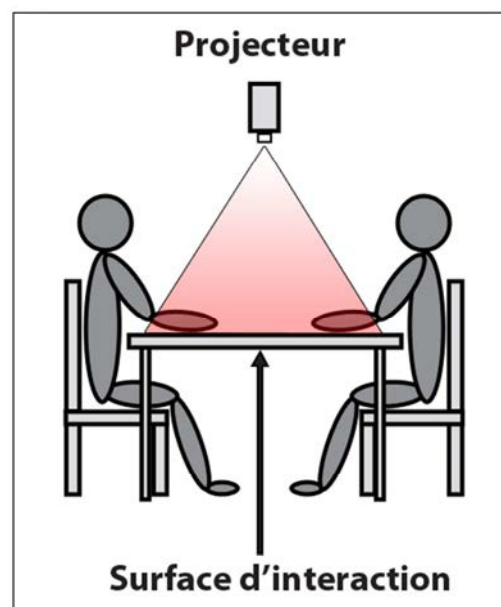


Figure 2.2 : Schéma de la « projection avant ».

Le premier inconvénient de la « projection avant », est que l'utilisateur, en interagissant avec la table, occulte une partie du retour visuel avec sa main qui se place entre le projecteur et la surface d'interaction. Ceci est un premier inconvénient qu'il ne faut pas négliger dans le développement d'interfaces utilisateurs et que la section 5.6 traitera.

Le second inconvénient est le fait qu'il n'est pas toujours aisé de placer le projecteur au-dessus de la table. Il est parfois plus simple d'utiliser la « projection arrière ».

### 2.1.2 Projection arrière

La seconde catégorie « projection arrière » reprend les technologies qui sont mises du côté opposé de l'utilisateur par rapport à la surface d'interaction, c'est-à-dire en-dessous de la table.

On retrouve dans cette catégorie, deux technologies différentes : les projecteurs et les écrans.

#### *Projecteurs*

Les projecteurs peuvent être utilisés tout comme pour la « projection avant » sauf que ceux-ci sont placés en-dessous de la table (Figure 2.3).

Par rapport à la « projection avant », l'avantage, est qu'il n'y a pas d'occlusion lorsque l'utilisateur interagit avec la table. La main ne se trouve pas entre le projecteur et la surface de projection.

L'utilisation de projecteurs par rapport aux écrans présente l'avantage d'être plus adaptée et moins chers pour des images de grande taille.

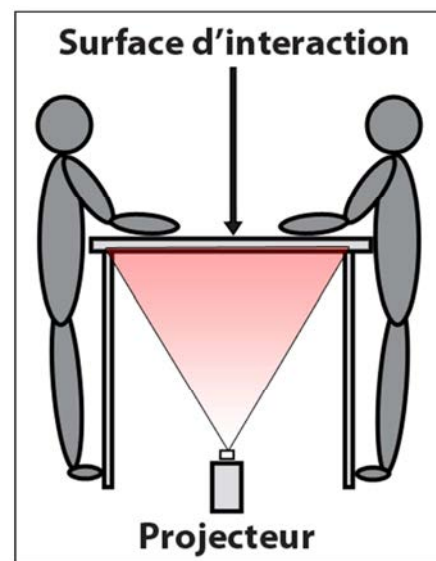


Figure 2.3 : Schéma de la « projection arrière » avec projecteur.

Plusieurs inconvénients sont à citer. Le premier concerne le manque de place en-dessous de la table vu que le projecteur y est placé. L'utilisateur ne peut donc plus mettre par exemple ses jambes (voir section 5.7 relative à l'ergonomie physique des tables). Le second désavantage est la résolution plus faible des projecteurs par rapport à des écrans (voir section 5.3).

Un troisième inconvénient peut survenir si l'on utilise le projecteur à une trop petite distance de la surface de projection. En effet, dans ce cas, l'image peut être trop brillante et provoquer un éblouissement de l'utilisateur après plusieurs minutes d'utilisation.

Le dernier inconvénient est la distance de projection<sup>1</sup> qui peut être assez grande en fonction des modèles de projecteurs et qui nécessite un certain recul avec la surface de projection. Ce recul peut être trouvé soit en augmentant la hauteur de la table, soit en utilisant des miroirs. Cette dernière solution a été utilisée dans la réalisation de la table interactive qui fait l'objet de la partie 2 « Implémentation » du mémoire.

---

<sup>1</sup> Distance nécessaire entre le projecteur et l'écran de projection pour avoir la taille d'image voulue.



## **Ecrans**

Le deuxième type de technologies pour la « projection arrière », concerne les écrans (LCD, plasma, etc.). Ceux-ci sont placés juste en-dessous de la surface d'interaction ou, dans certains cas, sont directement la surface d'interaction (Figure 2.4). Le choix du placement se fait notamment en fonction du périphérique d'entrée choisi pour la table et qui sera présenté à la section suivante.

Plusieurs avantages sont à souligner. Même s'ils sont placés en-dessous de la surface d'interaction, les écrans permettent de garder assez de place en-dessous de la table pour l'utilisateur. Ils offrent une meilleure résolution que les projecteurs et ne donnent pas d'effet d'éblouissement. Les écrans étant fins, la hauteur de la table n'est pas affectée comme c'est le cas avec les projecteurs et leurs distances de projection.

Le prix assez élevé (surtout ceux de grandes tailles) et le manque d'adaptation à toutes les technologies du périphérique d'entrée des tables interactives sont les inconvénients des écrans.

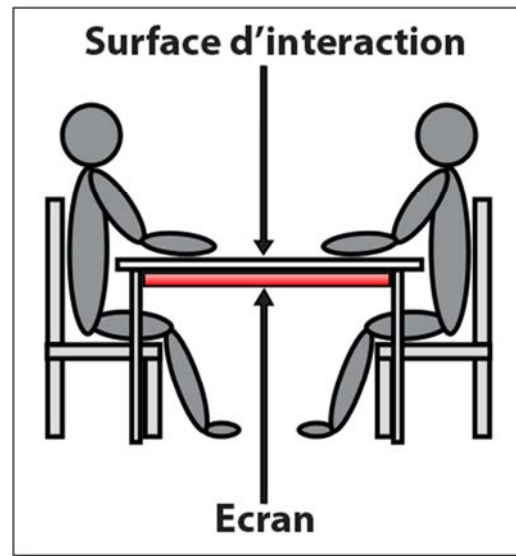


Figure 2.4 : Schéma de la « projection avant » avec écran.

## 2.2 Périphérique d'entrée

Cette section est basée sur [Hušek, 2011], [Kunz & Fjeld, 2010], [Muller, 2008], [NUI Group Authors, 2009], [Schöning, et al., 2008], [Schöning, et al., 2010] et [Wang, Liu, & Zhang, 2011].

La table interactive en tant que périphérique d'entrée a pour but de permettre l'interaction des utilisateurs de manière naturelle avec l'ordinateur<sup>1</sup> (par ex. l'interaction grâce aux doigts). Plusieurs technologies peuvent être utilisées à cet effet et sont regroupées sous l'intitulé de surface « multi-touch »<sup>2</sup>. Ces surfaces permettent de reconnaître plusieurs points d'interaction (par ex. les doigts) simultanément. La Figure 2.5 reprend les principales technologies des surfaces « multi-touch » regroupées en 3 catégories : électrique, acoustique et optique.

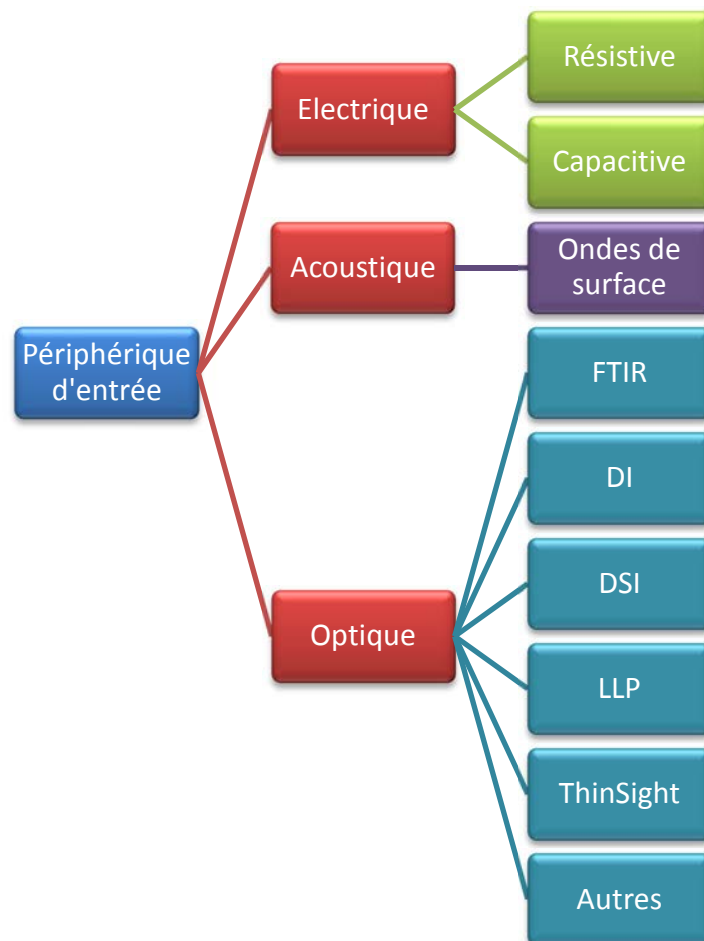


Figure 2.5 : Technologies des surfaces "multi-touch" comme périphérique d'entrée

<sup>1</sup> Comme pour le périphérique de sortie, il est possible d'avoir d'autres périphériques en entrée pour une table interactive (par ex. la voix). Dans ce chapitre, les technologies d'interactions avec les doigts seront principalement abordées. Cependant, pour chaque technologie, il sera spécifié si elles permettent ou non l'interaction avec des objets tangibles (reconnaissance de ceux-ci).

<sup>2</sup> Ou surface multi-tactile.

## 2.2.1 Electrique

### *Résistive*

Une première technologie de type électrique est la technologie résistive. Celle-ci est constituée de deux couches conductrices (« Conductive Coating » sur la Figure 2.6) séparées par une couche isolante (« Insulating Spacer Dots » sur la Figure 2.6). Les deux couches conductrices sont entourées par une membrane flexible et un substrat de verre. Lorsque l'utilisateur touche la surface flexible avec son doigt, il réalise un contact entre les deux couches conductrices. Ce contact permet de faire passer un courant électrique qui est alors mesuré de façon horizontale et verticale par un contrôleur. Celui-ci peut ensuite déterminer les coordonnées X-Y du point d'interaction.

L'avantage de cette technologie est sa faible consommation. Elle permet l'utilisation du doigt mais aussi du stylet ou de tout autre matériel.

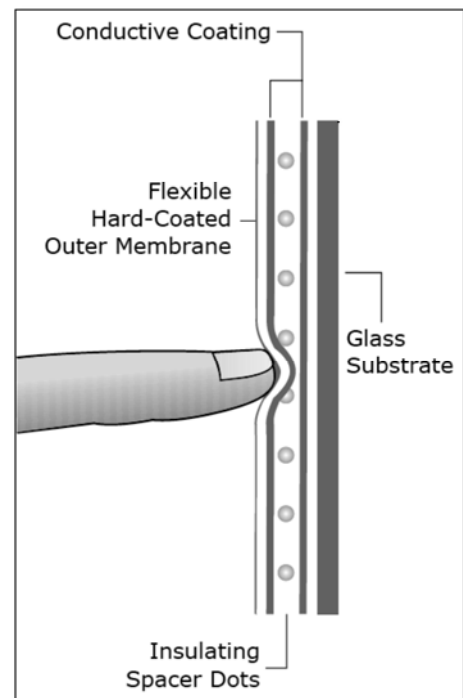


Figure 2.6 : Schéma de la technologie résistive.

Source : [Schöning, et al., 2008, p. 3]

Par contre, elle n'est pas aussi transparente que d'autres techniques (par ex. capacitive) ce qui peut être un inconvénient lorsqu'elle est placée par exemple, au-dessus d'un écran LCD pour le rendre tactile. Le second inconvénient est la dégradation possible de la membrane supérieure au cours du temps. Enfin, elle ne permet pas la reconnaissance d'objets tangibles.

### *Capacitive*

La technologie capacitive est la seconde technique de type électrique. Elle a été développée dans un premier temps pour une interaction avec seulement un seul doigt mais, par la suite, il a été possible de l'utiliser comme surface d'interaction « multi-touch ». Cependant, le nombre d'interactions simultanées est souvent limité. Par rapport à la technique résistive, elle est beaucoup plus transparente pour être placée au-dessus d'un écran LCD. Elle fournit une très bonne résolution, précision et fiabilité.

Son inconvénient est le coût de fabrication assez élevé. L'interaction avec cette technologie ne peut se faire que par l'intermédiaire d'un élément conducteur d'électricité (par ex. le doigt ou autres objets conducteurs). Elle ne permet pas la reconnaissance d'objets tangibles.

Concernant son fonctionnement, il existe en réalité deux mécanismes différents : la technologie capacitive de surface et la technologie capacitive projetée.

### Technologie capacitive de surface

La surface d'interaction utilisant la technologie capacitive de surface est constituée d'une couche conductrice posée sur une couche de verre. De chaque côté de la surface d'interaction, des électrodes maintiennent un champ électrique uniforme sur toute la couche conductrice. Ainsi, lorsqu'un utilisateur touche la surface d'interaction avec son doigt (ou avec tout autre objet conducteur), il modifie le champ électrique en captant une partie des charges

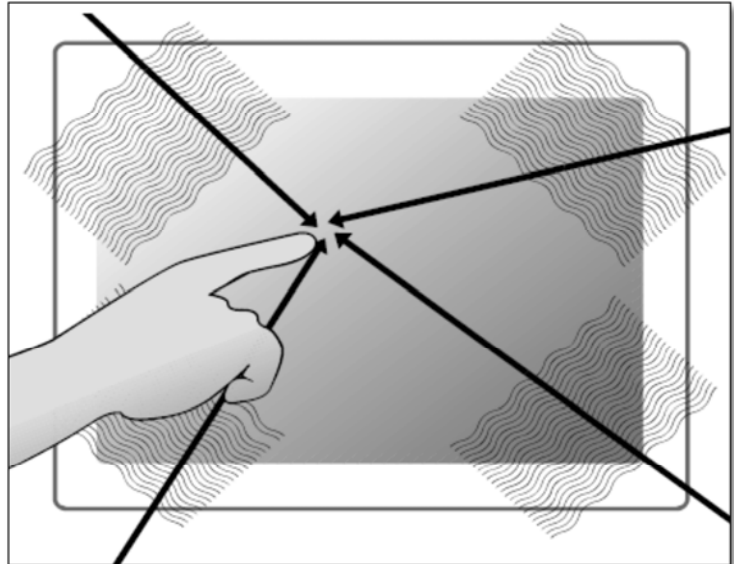


Figure 2.7 : Schéma de la technologie capacitive de surface.  
Source : [Schöning, et al., 2008, p. 3]

électriques. Cette perte de charge électrique peut être mesurée aux quatre coins de la surface d'interaction (Figure 2.7). Ensuite, un microprocesseur calcule les coordonnées X-Y du point d'interaction en interpolant les valeurs mesurées.

### Technologie capacitive projetée

La technologie capacitive projetée utilise une grille de fils extrêmement fins jouant le rôle de « capteurs électriques » (Figure 2.8). Cette grille est entourée par deux couches de verre. Lorsqu'un doigt touche la surface d'interaction, une capacitance électrique se forme entre le doigt et la grille. Les coordonnées X-Y du point d'interaction peuvent alors être calculées en analysant les caractéristiques électriques de la grille.

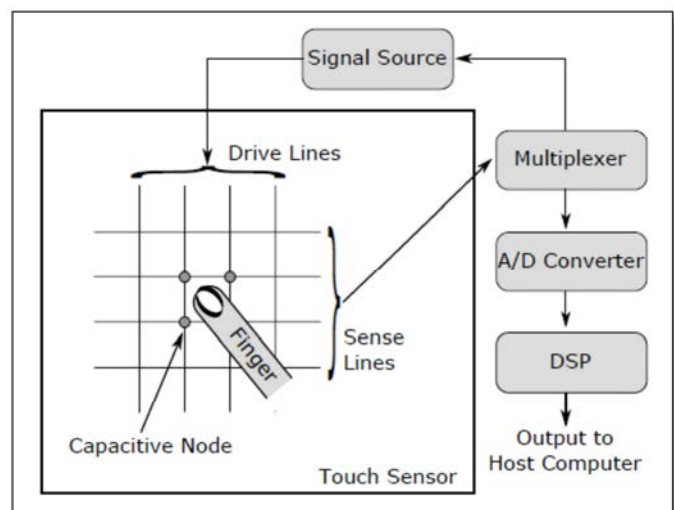


Figure 2.8 : Schéma de la technologie capacitive projetée.  
Source : [Schöning, et al., 2008, p. 4]

Cette technique peut être rendue très résistante par l'ajout d'une couche protectrice (qui peut aller jusqu'à deux centimètres d'épaisseur), sans en influencer fortement sa sensibilité. Enfin, par rapport à la technologie capacitive de surface, elle peut mieux gérer plusieurs interactions simultanées. Malheureusement, elle est la plus coûteuse à produire.

### ***Périphérique de sortie***

Concernant le périphérique de sortie qui peut être utilisé avec les technologies de type électrique, on retrouve généralement un périphérique de sortie par projection arrière. Il s'agit souvent d'un écran (par ex. LCD) sur lequel est disposée la technologie résistive ou capacitive. Il existe cependant la table *DiamondTouch* développée par Dietz et Leigh [2001] qui utilise quant à elle une technique dérivée de la technologie capacitive avec un périphérique de sortie par projection avant.

## **2.2.2 Acoustique**

Le second groupe de périphérique d'entrée est celui de la technologie acoustique d'ondes de surface (en anglais, Surface Acoustic Wave ou SAW). Son fonctionnement consiste à générer des ondes ultrasoniques sur la surface d'interaction. Lorsque cette surface est touchée par le doigt de l'utilisateur, il y a un changement du signal des ondes. Ce changement permet ensuite de calculer les coordonnées X-Y du point d'interaction.

Cette solution a pour avantage d'être très précise tout en étant robuste. Elle est tout à fait transparente.

Par contre, elle ne peut gérer que des interactions réalisées au doigt ou avec de petits objets. Elle ne permet pas l'identification d'objets tangibles. Enfin, son plus grand inconvénient est le nombre d'interactions simultanées qui se limite généralement à seulement deux interactions.

### ***Périphérique de sortie***

Pour le périphérique de sortie utilisé avec la technologie acoustique, on retrouve souvent celui de la projection arrière avec écran (par ex. LCD).

### 2.2.3 Optique

La technologie optique se caractérise par l'utilisation de capteurs optiques (caméras), de la lumière infrarouge<sup>1</sup> et d'un logiciel de traitement d'images (voir chapitre 0 qui traite de la partie logicielle).

Contrairement aux deux premières techniques, les technologies optiques ne nécessitent pas nécessairement une fabrication industrielle. C'est notamment pour cela qu'elles sont souvent utilisées dans le domaine académique ou comme prototype. De plus, leur fabrication peut se faire à un coût plus faible que les technologies précédemment citées. Elles peuvent gérer facilement plusieurs points d'interactions et certaines techniques optiques peuvent identifier des objets tangibles.

Quant aux inconvénients, on peut citer la nécessité d'avoir recours à un traitement d'image assez complexe. Ce traitement complexe peut provoquer un ralentissement dans le traitement des interactions. Il y a un certain décalage entre le moment où l'utilisateur interagit physiquement avec la table et le moment où le système prend en considération cette interaction. Ensuite, les technologies optiques peuvent être sensibles à la lumière ambiante étant donné la présence de lumière infrarouge dans celle-ci. La taille des surfaces d'interactions peut être limitée par l'angle de vision des caméras employées. Toutefois, le recours à plusieurs caméras peut être envisagé afin de couvrir une plus grande surface. Elles demandent souvent un certain recul qui peut influencer la hauteur des tables. Enfin, étant souvent placées sous la surface d'interaction, elles limitent alors l'espace disponible pour les utilisateurs en-dessous de la table (comme pour la projection arrière avec projecteur).

#### ***Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)***

En 2005, Han [2005] développe une nouvelle technologie d'interaction « multi-touch » qu'il qualifie comme étant « a simple, inexpensive, and scalable technique<sup>2</sup> ». Cette technique appelée *Frustrated Total Internal Reflection* (ou FTIR) repose sur le phénomène physique du même nom (réflexion totale frustrée en français).

Comme la Figure 2.9 le montre, des LED (Light-Emitting Diode ou diodes électroluminescentes en français) infrarouges sont disposées autour des bords d'une plaque d'acrylique (Plexiglass). La lumière infrarouge se diffuse alors dans la plaque sans en sortir car il y a réflexion totale des rayons infrarouges dans celle-ci. Cette réflexion totale est due au fait que la plaque d'acrylique a un indice

---

<sup>1</sup> Utilisation de l'infrarouge car invisible pour l'œil humain mais visible par une caméra.

<sup>2</sup> Une technique simple, peu coûteuse et évolutive.

de réfraction plus élevé que l'air qui l'entoure et que la lumière infrarouge des LED pénètre dans la plaque avec un angle d'incidence plus grand que l'angle critique (angle critique qui peut être calculé en utilisant la formule mathématique de Snell-Descartes).

Lorsque l'utilisateur touche la surface avec son doigt ou avec un autre objet, l'indice de réfraction est modifié et la réflexion totale est alors frustrée. Cela a pour conséquence de faire sortir une partie de lumière infrarouge de la plaque d'acrylique. Un point lumineux apparaît ainsi à l'endroit de l'interaction et peut être capté par la caméra. L'image capturée sera ensuite analysée afin d'en déduire une coordonnée X-Y.

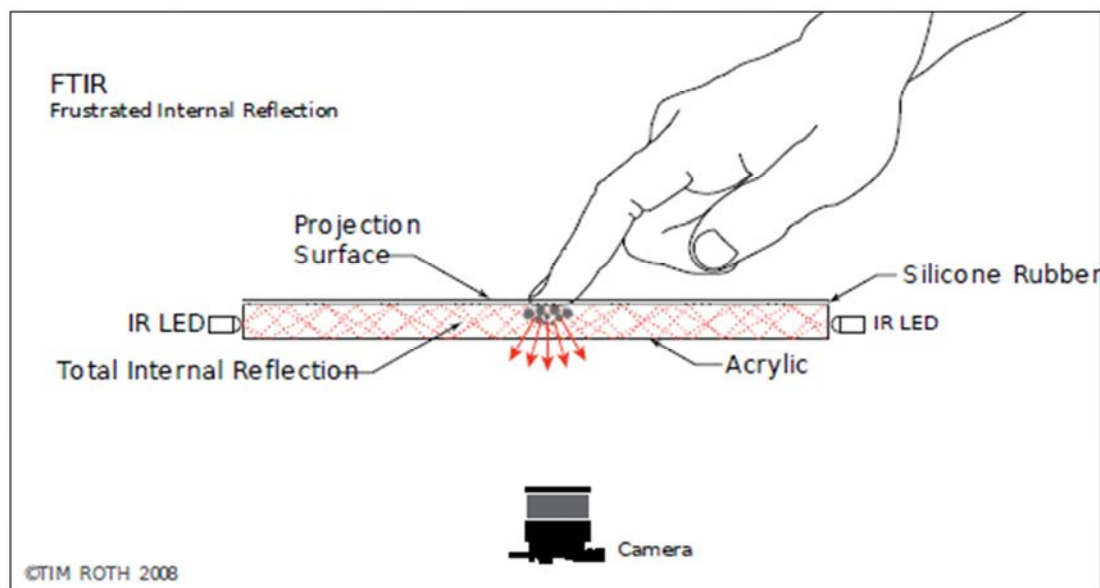


Figure 2.9 : Schéma de la technologie *Frustrated Total Internal Reflection* (FTIR).  
Source : [Schöning, et al., 2008, p. 5]

Cette technique, qui est assez simple et peu coûteuse à mettre en œuvre par rapport à d'autres, est très utilisée dans les différentes recherches sur les tables interactives. C'est notamment pour ces raisons qu'elle a été choisie lors de la réalisation de la table interactive qui sera présentée dans la partie 2 « Implémentation » du mémoire. Elle permet de reconnaître les interactions aux doigts ainsi que des formes d'objets. Elle fournit une bonne précision, elle est robuste et peut indirectement déterminer la pression de l'interaction (en analysant la taille du point lumineux).

Cette technique présente toutefois des inconvénients. Le placement des LED autour de la plaque d'acrylique (Plexiglass) demande un certain travail. Elle requiert une plaque d'acrylique (Plexiglass) et ne fonctionne pas par exemple avec du verre. Elle ne permet pas d'identifier des objets tangibles<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Par défaut, l'identification d'objets tangibles n'est pas possible. Nous avons cependant trouvé une solution pour permettre l'identification. Elle sera expliquée en détails au point 6.3.3 de la partie implémentation.

Enfin, il est souvent nécessaire d'ajouter une surface de couplage<sup>1</sup> (compliant surface en anglais) qui se place entre le doigt et la plaque d'acrylique (sur la surface d'interaction) afin d'obtenir de meilleurs points lumineux lors de l'interaction.

### ***Diffused Illumination (DI)***

Une seconde technique optique appelée Diffused Illumination se base sur l'illumination diffuse de la surface d'interaction. Il existe deux formes d'illumination : l'une qui se réalise par l'avant et l'autre par l'arrière.

#### **Front Diffused Illumination**

La technique d'illumination diffuse par l'avant (Figure 2.10) utilise la lumière ambiante comme source d'illumination. Un diffuseur est placé sur la surface d'interaction. Lorsqu'un doigt ou un autre objet touche la surface, une ombre est créée sur le diffuseur. La caméra détecte cette ombre et un logiciel de traitement d'images détermine la position de celle-ci.

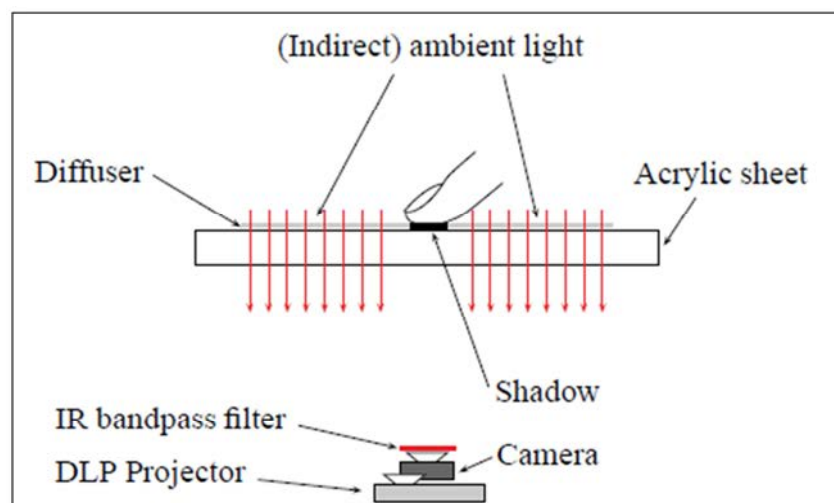


Figure 2.10 : Schéma de la technique Front Diffused Illumination (Front-DI).  
Source : [Muller, 2008, p. 11]

Cette technique est la moins chère. Cependant, elle est très dépendante de la lumière ambiante et il n'est pas facile d'avoir une surface uniformément illuminée. De ce fait, elle n'est pas très précise. Elle ne permet pas de reconnaître des objets tangibles.

#### **Rear Diffused Illumination**

La technique d'illumination diffuse par l'arrière utilise, quant à elle, une source d'illumination infrarouge située en-dessous de la surface d'interaction (Figure 2.11). Lorsqu'un objet ou un doigt touche la surface d'interaction, il reflète plus de lumière que le diffuseur seul. Ce reflet plus lumineux est alors perçu par la caméra et ses coordonnées X-Y pourront être trouvées.

<sup>1</sup> L'utilisation de cette surface de couplage sera abordée plus précisément dans le chapitre 6.2.4 de la partie implémentation.



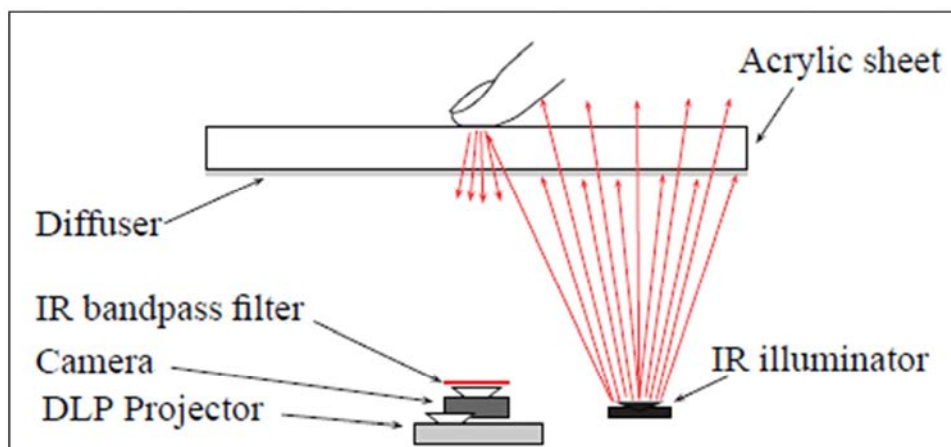


Figure 2.11 : Schéma de la technologie Rear Diffused Illumination (Rear DI).  
Source : [Muller, 2008, p. 10]

Cette technique offre une surface d'interaction simple et robuste. Elle permet de détecter et d'identifier des objets tangibles qui vont refléter la lumière infrarouge. Contrairement à la technique FTIR, elle peut utiliser une plaque de verre à la place d'une plaque d'acrylique.

Par contre, ses performances peuvent être fort variables ; elles dépendent surtout du diffuseur. Tout d'abord, il est nécessaire que celui-ci soit illuminé de manière uniforme. Ensuite, il faut qu'il n'absorbe pas trop de lumière infrarouge sans quoi les doigts ou objets ne pourront pas refléter assez de lumière et la caméra ne pourra pas les détecter. Au contraire, s'il n'en absorbe pas assez, les objets ou doigts qui ne touchent pas la surface d'interaction (qui se trouvent à une certaine distance) seront quand même illuminés et considérés comme touchant la surface (fausses interactions). Enfin, cette technique est plus sensible à la lumière environnante que la technique FTIR et requiert d'être disposée dans une « boîte fermée » afin de la préserver des rayons lumineux extérieurs.

### ***Diffused Surface Illumination (DSI)***

La technique Diffused Surface Illumination (Figure 2.12) est une troisième méthode optique qui est un mélange des deux méthodes précédentes (FTIR et DI). Des LED infrarouges sont disposées autour d'une plaque d'acrylique comme pour la technique FTIR. Cependant, la plaque d'acrylique utilisée est une plaque particulière (Acrylique Endlighten). Celle-ci contient de petites particules qui jouent le rôle de petits miroirs. Ainsi, lorsque la lumière infrarouge entre dans l'acrylique, celle-ci est redirigée et est uniformément répartie sur la surface de la plaque. L'effet est ensuite similaire à la technique Rear Diffused Illumination mais avec une illumination uniforme sur toute la surface d'interaction.

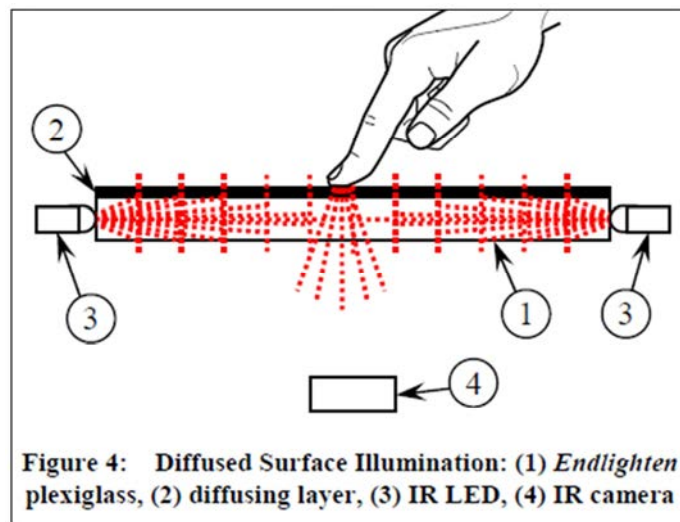


Figure 2.12 : Schéma de la technologie Diffused Surface Illumination (DSI).  
Source : [Hušek, 2011, p. 4]

Les avantages sont donc identiques à la technologie Rear Diffused Illumination (simple, robuste, objets tangibles). Elle nécessite cependant une plaque d'acrylique spéciale mais elle offre une meilleure illumination et ne requiert pas d'être disposée dans une « boîte fermée » afin de la préserver des rayons lumineux. Enfin, il est assez simple de passer de la technique FTIR vers DSI (seulement changer la plaque d'acrylique).

Comme inconvénient, il faut citer tout d'abord le prix de la plaque d'acrylique spéciale (*Endlighten*) qui est plus élevé qu'une plaque traditionnelle pour la technique FTIR par exemple. Ensuite, on a toujours une affectation possible des performances par la lumière ambiante. Enfin, par rapport à la technique DI, les points d'interaction sont moins visibles car l'illumination est moins forte (moins facile pour le logiciel de traitement d'images de détecter les points d'interaction).

### ***Laser Light Plane (LLP)***

Une autre technique assez simple est la technique Laser Light Plane (LLP). Des lasers (généralement 2 ou 4) sont positionnés aux coins de la surface d'interaction et émettent de la lumière infrarouge juste au-dessus de cette surface (Figure 2.13). Lorsque l'utilisateur touche la surface avec son doigt, il dévie une partie de l'infrarouge vers la caméra située en-dessous de cette surface d'interaction. Le logiciel de traitement d'images peut ensuite déterminer le point de contact.

L'avantage est qu'il s'agit d'une méthode relativement simple et peu coûteuse à mettre en place.

Par contre, cette technique ne peut pas reconnaître des objets tangibles. Il se peut aussi que certains interactions des doigts ne soient pas prises en compte. En effet, s'il n'y a pas assez de lasers

autour de la surface d'interaction, des occlusions peuvent survenir (un doigt empêche la lumière d'arriver à un autre doigt). Enfin, il faut être prudent lors de la construction de la table car les lasers infrarouges peuvent endommager les yeux. Ceux-ci doivent-être manipulés avec des lunettes de protection spéciales.

Il existe une variante à cette technique qui consiste à utiliser des LED infrarouge autour de la surface d'interaction à la place des lasers. Cette technique s'appelle LED Light Plane (LED-LP).

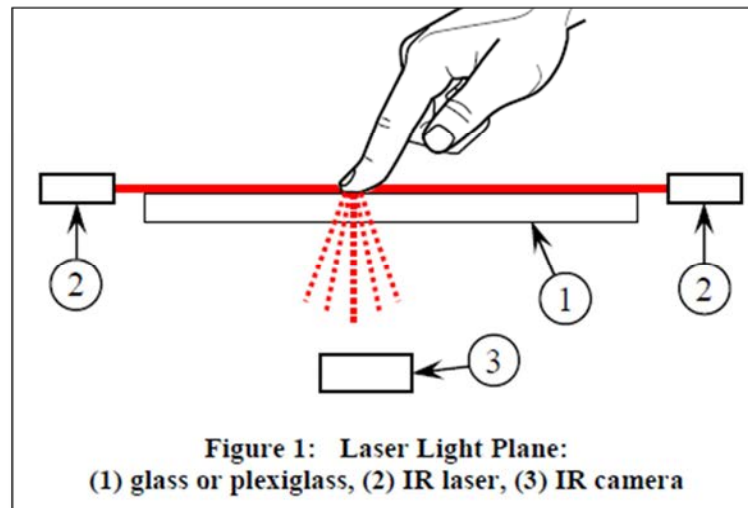


Figure 2.13 : Schéma de la technologie Laser Light Plane (LLP).  
Source : [Hušek, 2011, p. 3]

### *ThinSight*

Il existe aussi la technologie ThinSight développée par Hodges et al. [2007] qui propose quelques caractéristiques intéressantes. Son fonctionnement est basé sur un ensemble d'optosenseurs rétro-réfléchissants<sup>1</sup> qui sont placés directement derrière un écran LCD (Figure 2.14). Ces optosenseurs sont composés à la fois d'un émetteur infrarouge (qui passe à travers l'écran LCD) et d'un détecteur d'infrarouge.

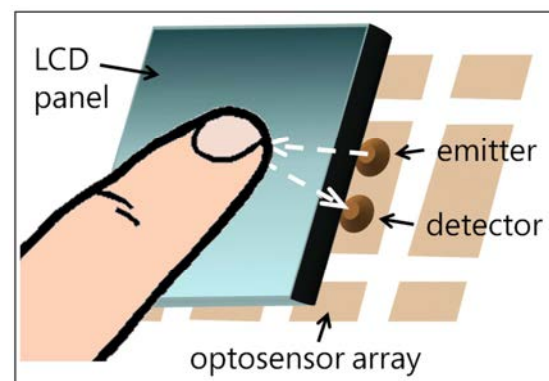


Figure 2.14 : Schéma de la technologie ThinSight.  
Source : [Hodges, Izadi, Butler, Rustemi, & Buxton, 2007, p. 262]

Lorsqu'un utilisateur touche l'écran LCD avec son doigt, la lumière infrarouge émise par l'optosenseur est réfléchi par ce doigt et le détecteur peut ainsi capturer cette lumière infrarouge. Un logiciel de traitement d'images peut ensuite récupérer les données capturées par l'ensemble des

<sup>1</sup> retro-reflective optosensor en anglais.

détecteurs afin de former une image globale de la surface d'interaction. Il peut ensuite déterminer les coordonnées des doigts. Cette technique ne se limite pas à la détection des doigts, elle peut également reconnaître des objets tangibles.

L'avantage considérable par rapport aux autres techniques est le fait que l'émetteur infrarouge et le détecteur (ou caméra pour les autres technologies) sont réunis dans un seul composant électronique. Il n'est donc plus nécessaire d'avoir une caméra ou une source infrarouge située en-dessous de la table, le tout peut se trouver dans l'écran LCD. Avec cette technologie, il est possible d'avoir des tables tactiles très fines tout en permettant de reconnaître des objets tangibles. C'est notamment sur base de ces travaux que la table *Microsoft Surface 2.0* a été développée (technologie PixelSense).

L'inconvénient est que cette technologie a un certain coût et nécessite une fabrication industrielle assez complexe. Enfin, pour le moment, elle fournit une résolution assez faible.

### ***Autres technologies***

La liste des technologies citées ci-dessous ne se veut pas exhaustive. Elle reprend les principales techniques, les plus rencontrées dans la littérature scientifique. Certaines d'entre elles, dont parfois des plus récentes, font actuellement l'objet de recherches.

On peut citer par exemple les travaux de Wang, Liu et Zhang [2011] qui ont mis au point une technique prototype permettant de détecter les interactions aux doigts à l'aide de caméras situées aux quatre coins de la surface d'interaction (Figure 2.15).

Il existe aussi des sociétés privées qui mettent au point et commercialisent des solutions permettant l'interaction « multi-touch ». C'est notamment le cas de la société *PQ Labs* qui a développé sa technologie *PQLabs LED Cell Imaging*<sup>1</sup>. Celle-ci permet de rendre un écran LCD traditionnel « multi-touch » en plaçant un cadre (qui est composé d'émetteurs infrarouges, de capteurs infrarouges et de microcontrôleurs) autour de celui-ci. Cette société propose des cadres allant de 80cm à plus de 2,5m de diagonale.

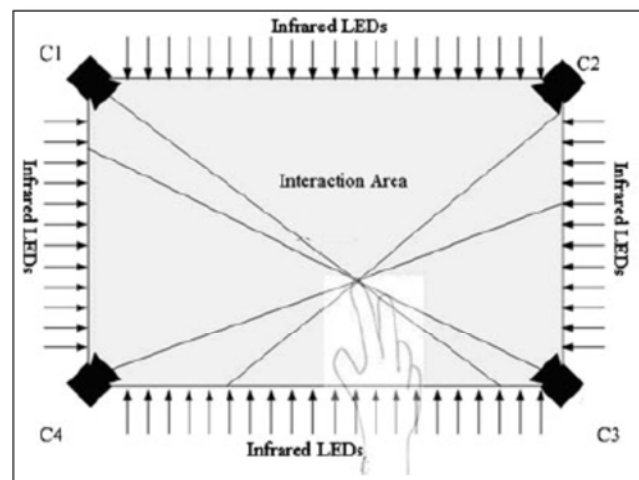


Figure 2.15 : Schéma du prototype de Wang, Liu et Zhang utilisant des caméras situées aux quatre coins de la surface d'interaction.

Source : [Wang, Liu, & Zhang, 2011, p. 967]

<sup>1</sup> [http://multi-touch-screen.com/product\\_plus.html](http://multi-touch-screen.com/product_plus.html) (Consulté le 12/08/2011)

## *Périphérique de sortie*

La plupart des technologies optiques (FTIR, DI, DSI, LLP) ont été développées dans le but d'utiliser un périphérique de sortie par l'arrière avec projecteur. Ce dernier étant placé sous la table, il faut être attentif au fait qu'il est nécessaire de le faire cohabiter avec la caméra se trouvant aussi sous la table. De plus, ces technologies utilisant souvent une plaque d'acrylique ou de verre, qui est transparente, il est donc nécessaire de mettre une surface de projection. Certaines sociétés proposent de telles surfaces<sup>1</sup>. On peut aussi envisager d'utiliser une feuille de papier calque (pour des tests ou un prototype car elle risque de s'abîmer à la longue).

Il est également possible de remplacer le projecteur par un écran LCD. Pour cela, il est nécessaire de démonter l'écran LCD pour y extraire la dalle d'affichage. La dalle d'affichage laissant passer la lumière infrarouge, peut être placée en-dessous de la surface d'interaction (tout en gardant les composants électroniques nécessaires connectés mais placés sur le côté). Il faut noter cependant que tous les écrans LCD ne peuvent convenir car pour certains, il n'est pas possible d'isoler suffisamment la dalle LCD de ses composants électroniques<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.rosco.com/us/screens/roscoscreen.cfm> (Consulté le 12/08/2011)

<sup>2</sup> Des membres de la communauté NUI Group ont créé une liste reprenant quelques écrans LCD dont il est possible d'isoler suffisamment la dalle d'affichage des composants électroniques. Cette liste peut être consultée sur la page web : [http://wiki.nuigroup.com/Large\\_LCD\\_Monitors](http://wiki.nuigroup.com/Large_LCD_Monitors) (Consulté le 12/08/2011)

## 3 Technologies logicielles

Ce chapitre se base sur les travaux de [Kaltenbrunner, Bovermann, Bencina, & Costanza, 2005], [Kammer, Georg, Keck, & Wacker, 2010] et [NUI Group Authors, 2009].

Le but de ce chapitre est d'étudier les différentes technologies logicielles qui sont utilisées dans les tables interactives et coopératives. Dans un premier temps, l'aspect communication entre le matériel et le logiciel sera traité. Ensuite, les principaux Frameworks<sup>1</sup> logiciels disponibles pour le développement sur tables interactives et coopératives seront analysés.

### 3.1 Communication matériel – logiciel

Comme le chapitre précédent l'a montré, une table interactive et coopérative est composée à la fois, d'un périphérique d'entrée et d'un périphérique de sortie. Evidemment, entre ces deux périphériques, il y a l'ordinateur qui les contrôle. Les deux sous-sections suivantes vont examiner les différentes solutions logicielles utilisées pour réaliser la communication entre les deux périphériques et l'ordinateur.

#### 3.1.1 Périphérique d'entrée

##### *Système d'exploitation*

Il existe certains systèmes d'exploitation qui gèrent nativement les périphériques d'entrée « multi-touch » et peuvent ainsi gérer plusieurs interactions simultanément. C'est notamment le cas des systèmes d'exploitation *Microsoft Windows 7*<sup>2</sup> et *Ubuntu*<sup>3</sup>. Il faudra toutefois qu'un *driver*<sup>4</sup> soit installé dans le système d'exploitation pour gérer ces périphériques.

Il faut noter que ces systèmes d'exploitation ne gèrent pas encore nativement plusieurs utilisateurs simultanément. Il est nécessaire que ce soit les applications sous-jacentes qui s'en occupent.

---

<sup>1</sup> Un Framework est un ensemble de bibliothèques logicielles (avec parfois aussi des outils) qui aident au développement de programmes informatiques.

<sup>2</sup> <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/ee336016.aspx> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>3</sup> <https://wiki.ubuntu.com/Multitouch> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>4</sup> Un driver (ou pilote en français) est un programme permettant à un système d'exploitation de reconnaître et de communiquer avec un périphérique.

## ***Protocole Tangible User Interface Object***

Kaltenbrunner et al. [2005] ont développé un protocole réseau dans le but de fournir un système de communication entre le périphérique d'entrée d'une table interactive et les applications sous-jacentes. Ce protocole nommé Tangible User Interface Object (TUIO) est basé sur le protocole UDP<sup>1</sup> et permet d'envoyer des messages contenant des informations telles que les coordonnées, taille, angle de rotation, etc. des points d'interactions (doigts, objets, etc.).

Ce protocole peut, par exemple, être utilisé si le système d'exploitation ne gère pas nativement les périphériques « multi-touch ». Il peut être aussi employé si le Framework logiciel utilisé pour le développement applicatif ne gère pas les interactions « multi-touch » du système d'exploitation. Enfin, il est possible de réaliser une « redirection » du protocole TUIO vers le « multi-touch » du système d'exploitation et vice-versa.

Des simulateurs d'interactions ont été également développés pour le protocole TUIO permettant de tester une application « multi-touch » sans avoir recours à un périphérique d'entrée « multi-touch » (par ex. pour tester une application « multi-touch » sur un ordinateur traditionnel).

Le site web [tuio.org](http://tuio.org) (consulté le 05/08/2011) reprend toutes les informations concernant ce protocole, les outils associés, les applications compatibles ainsi que des implémentations de clients et serveurs dans différents langages de programmation (C++, Java, C#, etc.).

## ***Périphériques de type électrique et acoustique***

Du fait que le procédé de fabrication des périphériques de type électrique et acoustique nécessite une réalisation industrielle, le choix de communication entre le matériel et l'ordinateur est laissé au choix des fabricants. Certains<sup>2</sup> proposent par exemple, une connexion USB ou RS232<sup>3</sup> et fournissent un driver pour le système d'exploitation.

## ***Périphériques optiques***

La plupart des périphériques d'entrée de type optique utilisent une caméra infrarouge pour filmer les interactions des utilisateurs. Les caméras peuvent être connectées à l'ordinateur via USB,

---

<sup>1</sup> UDP (User Datagram Protocol) est un protocole réseau de la couche transport qui fonctionne en mode non-connecté lui assurant une meilleure latence qu'un protocole connecté comme TCP (Transmission Control Protocol).

<sup>2</sup> [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/TouchSystems/TouchScreen/Solutions/MultiTouch/C3266PW](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/TouchSystems/TouchScreen/Solutions/MultiTouch/C3266PW) ou <http://www.leadingtouch.com/product/product03.php?catid=002002002&menuid=002002002007> (consultés le 05/08/2011)

<sup>3</sup> Norme de communication pour un bus de type série.

Firewire<sup>1</sup>, etc. L'ordinateur va donc recevoir les images brutes de la caméra. Il est ensuite nécessaire qu'un logiciel de traitement d'images analyse ces images pour réaliser la détection et le suivi des interactions (doigts, objets tangibles grâce à des tags collés dessus, etc.). Pour cela, il existe plusieurs logiciels dont les principaux sont :

- **Community Core Vision (CCV)** : solution open source de traitement d'images permettant le suivi des interactions au doigt. Au cours de son développement, la reconnaissance de tags qui peuvent être collés sur des objets tangibles a été ajoutée. Elle peut également gérer plusieurs caméras en entrée (réalise un « collage » des images des différentes caméras). Elle prend en charge un grand nombre de technologies optiques (FTIR, DI, DSI et LLP), supporte le protocole TUIO et est multiplateforme (Windows, Mac, Linux).  
**Lien** : <http://nuicode.com/projects/ccv/> (consulté le 05/08/2011).
- **reactIVision** : solution open source multiplateforme (Windows, Mac, Linux) développée par Kaltenbrunner M. et Bencina R. qui sont tous deux à l'origine des travaux sur le protocole TUIO. ReactIVision, qui supporte donc ce protocole, a été développé dans le but de reconnaître et suivre les tags collés sur les objets tangibles. Il est donc surtout utilisé pour des tables avec interface tangible mais permet également le suivi des doigts.  
**Lien** : <http://reactivision.sourceforge.net/> (consulté le 05/08/2011).
- **Touchlib** : solution open source fonctionnant seulement sous Windows. Elle permet uniquement le suivi des doigts. Elle prend en charge le protocole TUIO et a été développée dans l'optique de supporter la technologie FTIR.  
**Lien** : <http://code.google.com/p/touchlib/> (consulté le 05/08/2011).
- **Touché** : solution open source qui n'est compatible que sur Mac. Elle gère plusieurs technologies optiques (FTIR, DI, LLP) et supporte le protocole TUIO.  
**Lien** : <http://code.google.com/p/touche/> (consulté le 05/08/2011).

## *Gestes*

Les différentes solutions qui ont été listées ci-dessous permettent de réaliser la communication entre le périphérique d'entrée et une application sous-jacente. Cependant, elles se limitent souvent à ne renvoyer que des coordonnées X-Y des points d'interaction réalisés par les utilisateurs (avec parfois l'orientation ou la taille en plus). Il se peut que certaines applications désirent avoir un niveau d'abstraction supplémentaire sur ces interactions. Il existe donc des modules permettant d'analyser

---

<sup>1</sup> Firewire est un bus de type série qui est conforme à la norme IEEE 1394.



les interactions afin de reconnaître plutôt des gestes complexes que des points d'interaction. On peut notamment citer comme modules : Sparsh-UI, Grafiti, NUIFrame, AME Patterns Library.

### **3.1.2 Périphérique de sortie**

Concernant le périphérique de sortie, tous les systèmes d'exploitation principaux (Windows, Mac OS, Linux) permettent de connecter un écran ou un projecteur en sortie. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir recours à des programmes supplémentaires.

Toutefois, dans le cas où la table interactive utilise plusieurs écrans ou projecteurs en sortie (par ex. pour augmenter la résolution de la table), il est parfois nécessaire de disposer de programmes permettant de gérer l'ensemble des écrans ou projecteurs (« collage » des images, luminosité, contraste, balance des couleurs, etc.). La section 5.3 évoquera notamment cette situation.

## **3.2 Frameworks de développement**

Dans cette section, les principaux Frameworks de développement pour tables interactives et coopératives sont examinés. Avant de parcourir la liste de ceux-ci, les différentes caractéristiques qu'on peut attendre d'un Framework pour développement sur table sont analysées.

### **3.2.1 Caractéristiques**

La première caractéristique majeure d'un Framework pour tables interactives et coopératives est la nécessité que celui-ci sache gérer plusieurs interactions simultanément. En effet, contrairement à un Framework de développement traditionnel (adapté à une utilisation à la souris), il est nécessaire qu'il puisse tenir compte de toutes les interactions réalisées, parfois simultanément, par les différents utilisateurs de la table.

Pour l'analyse de ces Frameworks, deux types d'interactions ont été retenus : l'interaction aux doigts et l'interaction d'objets tangibles. Souvent, les Frameworks ne gèrent nativement que l'un ou l'autre type d'interaction mais certains peuvent gérer les deux.

Le support de gestes en plus des points d'interactions est aussi un facteur important dans le choix du Framework de développement. Certains proposent une gestion complète des gestes avec même des possibilités d'extensions alors que d'autres se limitent à des gestes simples. Kammer et al. [2010] regroupent le support des gestes en deux catégories. La première appelée « online gestures » qui

reprend les manipulations directes au travers des gestes (par ex. la rotation d'un élément qui se fait en même temps que le geste). Le second groupe, « offline gestures », reprend quant à lui les gestes qui sont analysés uniquement lorsqu'ils sont totalement effectués (par ex. l'utilisateur dessine un cercle, ensuite un menu apparaît à l'endroit où le cercle a été dessiné).

Certains programmes nécessitent parfois d'être multiplateforme (Windows, Mac, Linux). Si c'est le cas, il est nécessaire de choisir un Framework qui est lui-même multiplateforme.

De même, pour la communication avec le matériel (périphérique d'entrée), certains Frameworks peuvent fonctionner avec le protocole TUIO tandis que d'autres fonctionnent avec le mécanisme « multi-touch » du système d'exploitation. Il se peut aussi qu'un Framework laisse le choix entre les deux systèmes.

Enfin, dernier point important : ce sont les possibilités que donne un Framework concernant les contrôles utilisateurs pouvant être utilisés dans les interfaces graphiques. Il est primordial qu'il offre les contrôles traditionnels (boutons, menus, listes déroulantes, etc.) adaptés au contexte des tables interactives. L'idéal étant que celui-ci ne se limite pas aux contrôles traditionnels, qu'il laisse la possibilité aux développeurs et designers de créer d'autres contrôles afin de leur donner un maximum de liberté dans la création des interfaces utilisateurs.

### 3.2.2 Principaux Frameworks

La liste proposée ci-dessous ne se veut pas exhaustive. Elle reprend les principaux Frameworks de développement adaptés au contexte des tables interactives tout en essayant de couvrir différents langages de programmation (Java, C++, C#, etc.). Tous les Frameworks listés ci-dessous gèrent les interactions aux doigts et fournissent des contrôles utilisateurs de base tout en permettant d'en créer de nouveaux.

#### ***MT4j***

Le premier Framework open source de cette liste, nommé MT4j (Multitouch for Java)<sup>1</sup>, est développé en Java et par ce fait, il est multiplateforme. Il prend en charge la gestion des objets tangibles. Concernant les gestes, il propose une gestion complète des gestes de type « online » et permet de créer de nouveaux gestes facilement. Il est compatible à la fois avec le protocole TUIO et les interactions gérées par le système d'exploitation Windows 7.

---

<sup>1</sup> <http://www.mt4j.org> (Consulté le 05/08/2011)

## ***Surface SDK***

Le Framework Surface SDK<sup>1</sup> a été développé à la base par Microsoft pour sa table *Microsoft Surface*. Dans la version 2.0, son utilisation a été étendue au développement sur Windows 7. Il se base sur le langage C# .Net et plus particulièrement WPF (Windows Presentation Foundation). Par défaut, il ne gère pas le protocole TUIO mais uniquement le système d'interaction de Windows 7<sup>2</sup>. Il prend en charge les objets tangibles. Il propose des gestes standards (uniquement de type « online ») et il offre la possibilité d'en ajouter de nouveaux.

## ***Miria***

Miria<sup>3</sup> est un Framework open source qui se base aussi sur le langage C# .Net mais est orienté vers les applications Web. Il est en effet compatible avec les technologies Silverlight et Moonlight. Grâce à ces deux technologies, il est multiplateforme. Il est compatible à la fois TUIO et Windows 7. Il propose la gestion et l'ajout de gestes « online ». Par défaut, il ne gère pas les objets tangibles, uniquement les interactions aux doigts.

## ***PyMT***

Le quatrième Framework, PyMT<sup>4</sup>, est écrit en langage Python (multiplateforme) et il est open source. Il prend en charge le protocole TUIO ainsi que le système d'interaction de Windows 7. Il gère aussi bien les objets tangibles que les interactions aux doigts. Il gère par défaut les gestes « online » et « offline » tout en permettant d'en ajouter de nouveaux.

## ***libTISCH***

LibTISCH<sup>5</sup> est, quant à lui, écrit en C++ (open source) mais peut être utilisé en C#, Java ou Python. Il fonctionne sur toutes les plateformes. Par défaut, il est compatible uniquement avec le protocole TUIO. Il propose la gestion des gestes (uniquement « offline » mais avec ajout de nouveaux) et prend en charge les objets tangibles.

## ***GestureWorks***

Le dernier Framework de cette liste, nommé GestureWorks<sup>6</sup>, permet le développement d'application en Flash (Web), Flex (Web) ou Air. Il est multiplateforme mais est payant. Il fonctionne à la fois avec le protocole TUIO et Windows 7. Il prend en charge à la fois les gestes « online » et

---

<sup>1</sup> <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff727815.aspx> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>2</sup> Comme expliqué précédemment au point 3.1.1, il est possible de réaliser une « redirection » du protocole TUIO vers le « multi-touch » du système d'exploitation Windows 7 et ainsi rendre le Framework compatible avec le protocole TUIO.

<sup>3</sup> <http://miria.codeplex.com/> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>4</sup> <http://pymt.eu/> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>5</sup> <http://tisch.sourceforge.net/> (Consulté le 05/08/2011)

<sup>6</sup> <http://gestureworks.com/> (Consulté le 05/08/2011)

« offline » en offrant la possibilité d'en créer de nouveaux. Enfin, il peut aussi gérer les objets tangibles.

**Tableau 1 : Récapitulatif des principaux Frameworks de développement pour tables interactives et coopératives.**

	Multi-plateforme (Windows, Mac, Linux)	Langage	Communication	Interactions	Gestes	Contrôles utilisateurs
<b>MT4j</b>	Oui	Java	TUIO + Win7	D + T	Online	Oui
<b>Surface SDK</b>	Non (Windows)	C#	Win 7	D + T	Online	Oui
<b>Miria</b>	Oui	C# (Web)	TUIO + Win7	D	Online	Oui
<b>pyMT</b>	Oui	Python	TUIO + Win7	D + T	Online Offline	Oui
<b>libTISCH</b>	Oui	C++, Java, C#, Python	TUIO	D + T	Online	Oui
<b>Gesture Works</b>	Oui (payant)	Flash (Web), Flex (web), Air	TUIO + Win7	D + T	Online Offline	Oui

D = Doigts      T = objets Tangibles

## 4 Avantages et utilisations des tables

Ce chapitre est inspiré de [Besacier, Vernier, Chapuis, & Roussel, 2007], [Morris, 2006], [Müller-Tomfelde & O'Hara, 2010], [Shen C. , 2007], [Shen, et al., 2006].

Après avoir vu aux deux chapitres précédents la composition matérielle et logicielle des tables interactives et coopératives, on peut se demander quels sont les avantages et les utilisations de ces tables.

### 4.1 Nouvelles interactions et nouvelles interfaces utilisateurs

Le premier avantage que l'on peut citer provient du fait que la table est à la fois un périphérique d'entrée (tactile) et de sortie. Cette situation permet d'accepter des interactions à l'aide de doigts, de gestes permettant une manipulation plus intuitive de l'information que sur un ordinateur traditionnel (pour lequel on doit passer par une souris ou un clavier pour interagir). Ici, l'utilisateur peut directement toucher le contenu. La table requiert donc de la part de l'utilisateur, une charge cognitive<sup>1</sup> plus faible.

Certaines tables vont même plus loin en reconnaissant des objets lorsqu'ils sont placés sur celles-ci. Cela ouvre de nouvelles perspectives d'interactions, où l'environnement de l'utilisateur peut devenir lui-même un moyen d'interaction.

En raison de ces nouveaux modes d'interactions, le concept de GUI (Graphical User Interface ou interface utilisateur graphique en français) qui a été introduit début des années 80 et plus particulièrement celui du WIMP (Windows, icons, menus, pointer), n'est plus nécessairement adapté pour celles-ci. En effet, ces concepts ont été développés pour une utilisation souris-clavier de l'ordinateur.

Des recherches ont donc été faites dans ce domaine et de nouveaux concepts sont apparus. Les sous-sections suivantes abordent trois concepts d'interfaces utilisateurs adaptés à l'utilisation sur tables et qui proposent des applications nouvelles et intéressantes pour l'Interaction Homme-Machine.

---

<sup>1</sup> "Cognitive load is the amount of mental activity - perception, memory, problem solving - required to accomplish a goal." [Lidwell, Holden, & Butler, 2003, p. 148]

"La charge cognitive est la quantité d'activité mentale – perception, mémoire, solution de problème – requise pour accomplir une tâche."

### 4.1.1 Interfaces naturelles

Cette sous-section se base sur [Blake, 2011], [George & Blake, 2010] et [Salat, 2010].

Le premier concept abordé est celui des NUI (Natural User Interfaces ou interfaces utilisateurs naturelles en français). Blake [2011, p. 2] propose la définition suivante pour les NUI : « *A natural user interface is a user interface designed to reuse existing skills for interacting directly with content.*<sup>1</sup> ». Les tables interactives sont particulièrement adaptées aux NUI car elles permettent d'interagir directement avec le contenu au moyen du toucher ou de gestes qui sont des compétences innées pour l'utilisateur.

Blake insiste sur trois points à propos de sa définition. Tout d'abord, il souligne le fait que l'interface est « conçue ». La création de l'interface doit être suffisamment pensée afin d'être en adéquation avec l'utilisateur final, le contenu et le contexte. Le processus de conception de l'interface doit être aussi important que celui du développement.

Le second point sur lequel il met l'accent est la réutilisation de compétences existantes. Il préconise l'utilisation de moyen d'interaction que l'utilisateur connaît déjà (toucher, gestes, paroles, etc.). Il faut que l'utilisateur puisse interagir avec le contenu de manière intuitive. C'est évidemment fort différent des GUI qui utilisent des artefacts (fenêtres, menus, icônes, etc.) avec lesquels on peut interagir au moyen d'une souris et d'un clavier. George et Blake [2010] proposent un nouveau modèle OCGM (Objects, Containers, Gestures et Manipulations) pour remplacer celui du WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointer) qui n'est plus adapté aux NUI. Ce nouveau modèle d'OCGM se base donc sur des objets, des conteneurs, des gestes et des manipulations. Ces quatre concepts ont été choisis car ils sont connus dès le plus jeune âge par l'être humain (environ 9 mois). Ainsi, ils permettent de diminuer la charge cognitive requise pour utiliser une interface utilisateur naturelle.

Le dernier point important de cette définition selon Blake, est l'interaction directe avec le contenu. L'utilisateur ne doit plus interagir principalement sur des boutons, menus, etc. ; il doit plutôt interagir sur le contenu lui-même. Ainsi, par exemple, si l'utilisateur désire agrandir une image, il ne va pas pousser sur un bouton « agrandir », il va plutôt réaliser un geste avec ses doigts directement sur la photo. Toutefois, il ne faut pas pour autant bannir par exemple tous les boutons, menus, etc. des interfaces naturelles.

---

<sup>1</sup> Une interface utilisateur naturelle est une interface utilisateur conçue pour réutiliser des compétences existantes pour interagir directement avec le contenu.

Par rapport aux GUI, les NUI imposent une nouvelle façon de penser pour les concepteurs d'interfaces et pour les utilisateurs, elles permettent de diminuer la charge cognitive nécessaire pour comprendre et utiliser ces interfaces.

#### 4.1.2 Interfaces multimodales

Cette sous-section se réfère aux travaux de [Heidmann, 2009], [Piper & Hollan, 2009], [Raisamo, 1999].

Un deuxième type d'interface utilisateur qui est notamment adapté aux tables interactives et coopératives est celui des interfaces multimodales. Le principe de ces interfaces est de multiplier les périphériques d'entrée et de sortie disponibles pour les utilisateurs. Les interfaces multimodales tentent d'imiter le comportement humain qui est lui-même multimodale. En effet, l'homme utilise plusieurs canaux comme la voix, l'expression du visage, les gestes, etc. pour communiquer et réaliser des activités de collaboration.

Par défaut, une table interactive peut déjà reconnaître en entrée des gestes et des interactions aux doigts et elle fournit un retour visuel en sortie. Il est ensuite possible d'ajouter des périphériques supplémentaires (en entrée comme en sortie) afin d'enrichir les interactions avec la table ainsi qu'entre les participants. On peut, par exemple, ajouter une reconnaissance vocale afin que l'utilisateur puisse dicter des commandes à la table. L'ajout d'une caméra peut être utilisé pour réaliser un suivi du corps, des yeux ou du visage d'un utilisateur. Ce suivi peut notamment servir à détecter l'attention de l'utilisateur, voir s'il discute avec un autre participant, etc. Il est aussi possible d'ajouter du son en sortie en plus du retour visuel. Il existe encore d'autres possibilités tenant compte du fait que le but des interfaces multimodales est de combiner plusieurs de ces modalités ensemble.

Maybury et Wahlster [1998, p. 15] proposent une liste de six avantages des interfaces multimodales :

- **Efficacité** : grâce à la multitude de périphériques disponibles, l'utilisateur peut choisir celui qui lui convient le mieux (le plus efficace) pour réaliser une tâche.
- **Redondance** : le fait que plusieurs périphériques captent en même temps l'interaction de l'utilisateur, cela permet d'augmenter la probabilité que la communication soit bien interprétée par l'ordinateur. En effet, celui-ci a à sa disposition plusieurs références de la même interaction, sous plusieurs « points de vue ».

- **Perceptibilité** : celle-ci est améliorée par les différentes modalités offertes aux utilisateurs.
- **Naturel** : tout comme les interfaces naturelles, les interfaces multimodales peuvent proposer aux utilisateurs des moyens d'interactions qui sont naturels pour eux (voix, toucher, etc.).
- **Précision** : l'utilisation de plusieurs moyens d'interactions simultanément peut apporter plus de précision.
- **Synergies** : il peut y avoir des synergies entre les différents canaux de communication afin de combler une imprécision, modifier le sens et/ou résoudre une ambiguïté présente sur un canal.

### 4.1.3 Interfaces tangibles

Cette sous-section est inspirée de [Inami, Sugimoto, Thomas, & Richter, 2010], [Ishii, 2008], [Ishii & Ullmer, 1997], [Fitzmaurice, Ishii, & Buxton, 1995], [Weiss, Hollan, & Borchers, 2010]

Les dernières interfaces qui ont été examinées sont celles des interfaces utilisateurs tangibles (Tangible User Interface ou TUI en anglais). Celles-ci ont déjà été brièvement introduites dans l'historique. Pour rappel, dans le cadre des tables interactives, le concept des TUI consiste à interagir avec la table au moyen d'objets physiques (tangibles) qui sont disposés sur celle-ci et qui ont une sémantique précise. Les tables interactives et coopératives sont très bien adaptées à l'utilisation des interfaces tangibles car les objets tangibles requièrent une surface pour être posés. On peut retrouver sur la table des objets passifs mais il est aussi possible d'avoir des objets actifs (par ex. des petits robots).

L'utilisation des TUI présente plusieurs avantages. Tout d'abord, l'utilisateur réalise des interactions physiques. Celles-ci sont très naturelles et intuitives pour lui. En effet, il peut utiliser ses deux mains et cela lui fournit une sensation de toucher qui peut l'aider dans sa compréhension et son utilisation de l'interface. Les TUI profitent de notre bonne capacité humaine pour la saisie et la manipulation d'objets physiques.

Un autre avantage est le fait que les TUI permettent l'interaction simultanée de plusieurs utilisateurs. L'expressivité et les capacités de communication avec l'ordinateur sont dès lors améliorées.

Enfin, les TUI permettent d'externaliser de l'ordinateur une partie de l'information qui est généralement virtuelle. L'information se retrouve donc dans le monde réel dans lequel l'utilisateur a



une bonne vision de l'espace dont il peut tirer profit pour mieux visualiser et interagir avec ces objets tangibles.

## 4.2 Coopération

A côté des nouvelles interactions et des nouvelles interfaces utilisateurs, le support du travail coopératif présente un second avantage. Comme le soulignent Besacier et al. [2007], la collaboration à distance est de plus en plus importante dans le monde du travail actuel (vidéoconférence, VOIP, etc.) mais, la collaboration « face à face » est toujours bien présente. On a tendance à utiliser une table pour travailler à plusieurs. Les tables interactives et coopératives peuvent bien sûr supporter une telle tâche tout en apportant en plus, un support informatisé. Les tables interactives et coopératives se concentrent surtout sur du travail collaboratif de petits groupes (rarement plus de 4 personnes) qui peut se faire soit debout ou assis (en fonction de l'ergonomie physique de la table).

Il existe bien sûr d'autres solutions informatisées permettant le travail collaboratif. On peut, par exemple, citer les tableaux interactifs, les écrans tactiles verticaux voire même un ordinateur traditionnel. Néanmoins, les tables interactives apportent certains avantages par rapport à ces solutions.

Tout d'abord, elles contribuent à l'égalité entre les différents participants. A tout moment de la session de collaboration, un participant peut facilement prendre « possession » de la table. Il n'y a pas qu'une seule personne qui peut diriger le travail (bien que dans certaines situations, cela peut être un inconvénient, il faut en tenir compte).

Plusieurs utilisateurs peuvent interagir avec la table de manière simultanée. Ceci modifie les habitudes conventionnelles (habitude d'une seule interaction possible à la fois, d'un seul scribe, d'un seul animateur de réunion, etc.)

Ensuite, le fait que le travail se déroule autour d'une table et non pas devant un écran ou un tableau, cela permet de renforcer les discussions interpersonnelles. Les participants sont plus enclin à discuter lorsqu'ils sont autour d'une table. Il est même possible d'améliorer la cohésion du groupe et le travail d'équipe en obligeant par exemple les participants à réaliser des interactions qui nécessitent de la coordination entre plusieurs d'entre eux.

Signalons que dans l'usage des tables coopératives, tout n'est pas encore codifié. Par exemple, il n'y a pas encore de protocole ou convention sur le partage d'éléments entre plusieurs participants

comme c'est pourtant le cas dans le travail collaboratif sur table traditionnelle. Il en va de même pour les espaces personnels et publics sur la table. Les deux sous-sections suivantes vont détailler les différentes possibilités pour y remédier.

#### 4.2.1 Zones personnelles et publiques

Cette sous-section se base sur les travaux de [Scott & Carpendale, 2010].

Des études ont montré que pour la collaboration sur tables traditionnelles, trois zones de travail sont utilisées par les participants afin de coordonner leurs interactions : la zone personnelle, la zone de groupe et la zone de stockage. Ces trois zones permettent d'améliorer le travail collaboratif car chaque participant sait quelles régions sont disponibles pour travailler individuellement ou en groupe. Il y a une codification qui est mise en place. Une fois les zones bien définies, il est possible d'organiser, de déléguer le travail et de coordonner les accès aux ressources partagées.

Pour les tables interactives et coopératives, il est également conseillé de mettre en place un système similaire. La Figure 4.1 reprend ces trois zones. Tout d'abord, lorsque les participants arrivent à la table, celle-ci est une zone accessible à tous et donc, on retrouve une zone de groupe sur l'ensemble de la table. Ensuite, quand un utilisateur est installé à la table, une zone personnelle est créée devant lui. L'idéal étant qu'il puisse

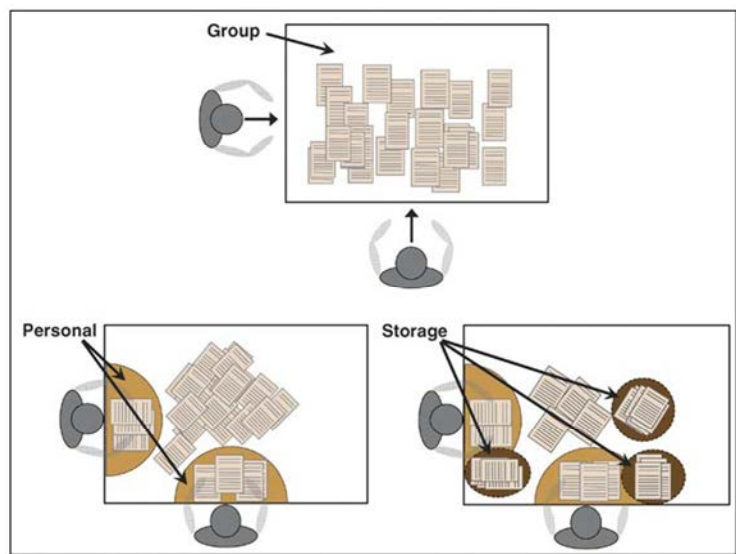


Figure 4.1 : Schéma des trois zones (personnelle, groupe et stockage) d'une table interactive et coopérative.

Source : [Scott & Carpendale, 2010, p. 376]

redimensionner cette zone comme il le souhaite et qu'elle puisse être déplaçable si l'utilisateur doit changer de place autour de la table. Enfin, on peut avoir des zones de stockage à différents endroits de la table mais étant accessibles depuis une zone personnelle ou de groupe. Il est également préférable que ces zones de stockage puissent être déplaçables.

### ***Zone personnelle***

La zone personnelle est donc située au plus près de l'utilisateur. Elle lui permet de réaliser des activités indépendamment du groupe. Il dispose ainsi d'une zone « semi-privée » pour qu'il puisse explorer, par exemple, une idée alternative qu'il peut par la suite présenter au groupe. Les éléments de cette zone personnelle sont généralement orientés vers l'utilisateur et de plus petites tailles que ceux qui se trouvent dans la zone de groupe.

### ***Zone de groupe***

La zone de groupe est un espace pour travailler à plusieurs sur une tâche, mais rien n'empêche qu'elle puisse également servir à travailler individuellement. Elle sert aussi aux partages de ressources ainsi qu'à la discussion d'idées.

En général, on situe une zone de groupe au centre de la table. Des zones d'échanges ou de sous-groupes peuvent également être mises en place entre les différentes zones personnelles des utilisateurs.

Les éléments de ces zones de groupe sont de plus grandes tailles et leurs orientations peuvent varier afin d'être visibles par le plus grand nombre de participants.

### ***Zone de stockage***

Il est possible de disposer de zones de stockage sur la table. Celles-ci servent à stocker des ressources (par ex. des outils). Les utilisateurs peuvent ainsi accéder aux ressources quand ils le désirent. Elles permettent aussi la réservation de ressources par les utilisateurs.

Elles sont souvent placées aux côtés des zones personnelles et de groupe. Les participants ont la possibilité d'y ajouter ou d'enlever des éléments. Ils peuvent aussi rechercher, réorganiser ou comparer les éléments s'y trouvant déjà.

## **4.2.2 Partage d'éléments**

Cette sous-section se réfère à [Morris, 2006].

La collaboration sur table interactive et coopérative implique le partage d'éléments entre les participants. Celui-ci ne fait pas encore l'objet d'une codification.

Morris [2006, p. 15] définit le partage comme étant : « *the ability to dynamically change the accessibility of a digital document by transitioning between a "personal" access control policy*

(whereby only the document's owner can move or alter the document) and a "public" access control policy (whereby all users at the table can move or alter the document)<sup>1</sup> ».

Morris propose quatre techniques permettant le partage d'éléments : le relâchement, la relocalisation, la réorientation et le redimensionnement.

### **Relâchement**

La technique du relâchement (Figure 4.2) imite le mécanisme qui s'opère lorsque deux personnes se transfèrent une feuille de papier. L'utilisateur A, à qui appartient l'élément, a son doigt sur celui-ci. Le participant B, qui désire récupérer ce document, va lui aussi mettre son doigt dessus. Ensuite, pour effectuer réellement le transfert, l'utilisateur A retire son doigt.

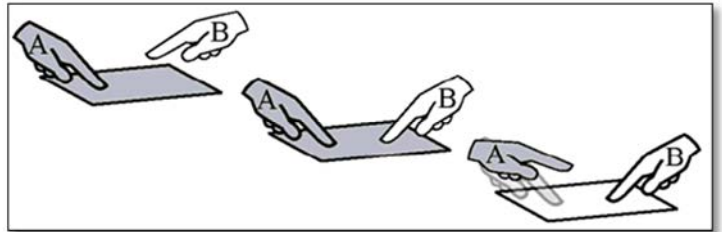


Figure 4.2 : Technique de partage d'un élément par relâchement.  
Source : [Morris, 2006, p. 16]

### **Relocalisation**

Une seconde technique se base sur la relocalisation de l'élément à transférer (Figure 4.3). L'utilisateur A, qui désire transférer un élément, va le déplacer de sa zone personnelle vers une zone de groupe (zone centrale sur la Figure 4.3). Par ce changement de zone, l'élément devient accessible à d'autres participants.

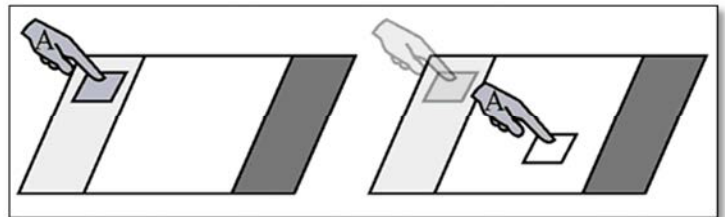


Figure 4.3 : Technique de partage d'un élément par relocalisation.  
Source : [Morris, 2006, p. 17]

### **Réorientation**

Une autre technique de transfert utilise la réorientation. Quand un utilisateur désire partager un document avec une ou plusieurs autres personnes, il change l'orientation de celui-ci. Il n'oriente donc plus l'élément vers lui mais vers la personne intéressée par le partage ou vers la zone de groupe s'ils sont plusieurs intéressés.

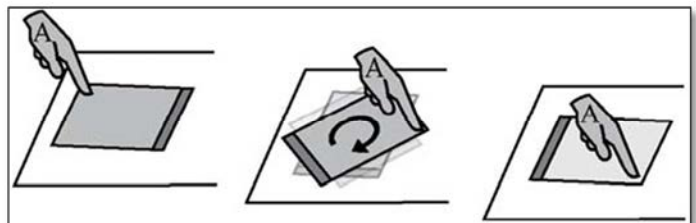


Figure 4.4 : Technique de partage d'un élément par réorientation.  
Source : [Morris, 2006, p. 18]

<sup>1</sup> La capacité de changer dynamiquement l'accessibilité d'un document numérique en passant d'une politique de contrôle d'accès « personnel » (où seul le propriétaire du document peut déplacer ou modifier ce document) à une politique de contrôle d'accès « public » (où tous les utilisateurs de la table peuvent déplacer ou modifier le document).

## Redimensionnement

Une dernière technique proposée est celle du redimensionnement. Lorsqu'un document a une petite taille, cela signifie qu'il appartient à un utilisateur. Par contre, lorsqu'un participant désire partager le document, il va augmenter sa taille afin de signaler le partage.

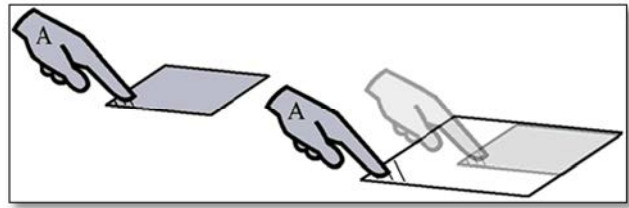


Figure 4.5 : Technique de partage d'un élément par redimensionnement.

Source : [Morris, 2006, p. 18]

Dans les travaux de Morris [2006], une évaluation de ces quatre techniques a été réalisée auprès de 30 personnes. C'est la technique par relocalisation qui s'est montrée la plus rapide et la mieux appréciée par les participants.

Pour conclure cet aspect de la coopération sur les tables interactives et coopératives, il est utile de souligner que le travail coopératif assisté par ordinateur est un domaine assez complexe. Il relève de plusieurs disciplines assez variées telles que la psychologie, la sociologie, l'anthropologie et l'informatique.

## 4.3 Surface de travail

Une des caractéristiques des tables interactives et coopératives étant leur grande surface d'interaction, l'utilisateur peut en tirer un certain avantage. Il peut, par exemple, utiliser cette grande surface visuelle comme une mémoire externe physique (étendant ainsi sa capacité de mémoire de travail).

De plus, à l'heure actuelle, l'environnement de travail est souvent constitué à la fois de documents papiers ainsi qu'informatisés. Les tables interactives peuvent évidemment être une bonne solution pour passer d'un type de documents à l'autre et cela, sans trop d'effort (Figure 4.6). Les tables interactives et coopératives ont la particularité de pouvoir facilement combiner le monde réel avec le monde virtuel.



Figure 4.6 : Table interactive et coopérative servant à la classification de documents papiers et électroniques.

Source : [Müller-Tomfelde & O'Hara, 2010, p. 444]

Enfin, il est également possible que la table joue un rôle centralisateur pour tous les périphériques mobiles

(Smartphones, tablettes électroniques, ordinateurs portables, etc.) qui sont de plus en plus utilisés. La table peut ainsi centraliser l'information de différents périphériques en vue d'être traitée.

## 4.4 Exemples d'utilisations

Cette section reprend quelques utilisations des tables interactives et coopératives dans des domaines variés.

Un premier exemple d'utilisation est celui de Safin, Boulanger et Leclercq [2005] qui ont développé une table interactive pour architecte (Figure 4.7). Celle-ci permet de faire du dessin assisté par ordinateur à l'aide d'un stylet. Pour cette table, c'est la projection par l'avant qui a été choisie comme périphérique d'entrée. L'avantage de l'utilisation d'une table interactive au lieu d'un ordinateur traditionnel pour cette tâche de dessin est de permettre une interaction plus naturelle qui se rapproche de près du dessin sur une feuille de papier.



Figure 4.7 : Virtual Desktop, table pour dessin assisté par ordinateur pour architectes.  
Source : [Safin, Boulanger, & Leclercq, 2005, p. 2]

Un second exemple est celui de la table interactive et coopérative de Conversy et al. [2011] qui permet de contrôler le trafic aérien (Figure 4.8). Cette table gère l'interaction de plusieurs utilisateurs simultanément et permet de réaliser une tâche collaborative. Un écran vertical a été ajouté à la table pour y afficher des informations supplémentaires.

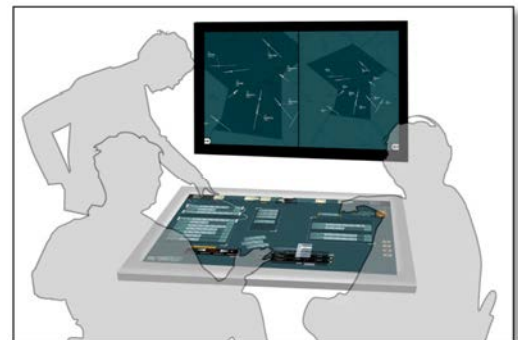


Figure 4.8 : Schéma d'une table interactive et coopérative permettant le contrôle du trafic aérien.  
Source : [Conversy, Gaspard-Boulinc, Chatty, Valès, Dupré, & Ollagnon, 2011, p. 425]

Morris [2006] a utilisé le potentiel collaboratif des tables interactives et coopératives pour créer un jeu multi-joueurs en vue d'aider les enfants atteints du syndrome d'asperger<sup>1</sup> en leur permettant d'améliorer leur apprentissage de l'écoute active, de la négociation et du travail en groupe. L'utilisation d'une table collaborative a été choisie pour ce projet car d'une part, elle permet l'utilisation d'un ordinateur qui est en général très apprécié par les enfants atteints du syndrome et d'autre part, elle fournit un support de collaboration entre différents enfants.

<sup>1</sup> Le syndrome d'asperger est un trouble du développement du spectre autistique. Il affecte la vie sociale de la personne, ses perceptions sensorielles, mais aussi sa motricité.

Source : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Syndrome\\_d'Asperger](http://fr.wikipedia.org/wiki/Syndrome_d'Asperger) (Consulté le 25/08/2011)

En 2009, Piper et Hollan [2009] développent pour la table *DiamondTouch* une application tirant parti des interfaces multimodales sur table interactive et coopérative (Figure 4.9). Cette application facilite la communication entre un médecin et un patient atteint de surdité. Elle utilise la reconnaissance vocale pour retranscrire les paroles du médecin qui sont ensuite affichées sur la table. Le patient, quant à lui, utilise un clavier pour communiquer avec le médecin par l'intermédiaire de la table.

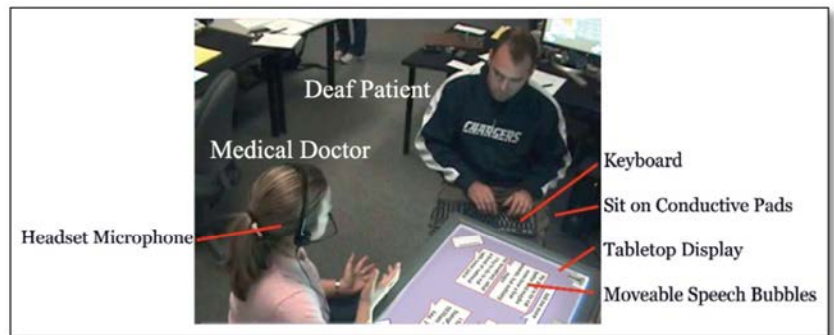


Figure 4.9 : Application multimodale sur table interactive et coopérative permettant la communication entre un médecin et un patient atteint de surdité. Source : [Piper & Hollan, 2009, p. 286]

Annett, et al. [2009] proposent une table pour aider à la réhabilitation des membres supérieurs (Figure 4.10). Par rapport aux techniques traditionnelles, la table interactive favorise la réalisation d'exercices plus ludiques et moins monotones. Cela incite les patients à faire au mieux ces activités de réhabilitation. Ce système permet également au médecin d'avoir un meilleur suivi personnel de chaque patient. Le système est en effet capable d'enregistrer et de comparer les mesures des performances.



Figure 4.10 : Réhabilitation des membres supérieurs à l'aide d'une table interactive. Source : [Annett, et al., 2009, p. 261]



Figure 4.11 : Tri de documents sur table interactive et coopérative. Source : [Privault, O'Neill, Ciriza, & Renders, 2010, p. 472]

Privault et al. [2010] ont profité de la grande surface que proposent les tables interactives et coopératives pour créer une application permettant de classer des documents. Cette application est utilisée par des avocats ou juristes qui ont généralement une grande quantité de documents à traiter. L'utilisateur peut donc venir avec ses documents et les trier avec d'autres personnes.

Une autre utilisation, déjà abordée dans l'historique, est celle de Jordà et al. [2007] qui ont créé une table interactive et coopérative musicale. A l'aide d'objets tangibles et des interactions aux doigts, la table se transforme en véritable instrument de musique.

Enfin, Correia et al. [2010] ont installé une table interactive dans une musée. Celle-ci a encouragé les visiteurs à explorer l'exposition d'une manière différente (plus virtuelle). Elle leur a également permis d'avoir plus d'informations et de donner des feedbacks sur l'exposition.

## 5 Problèmes liés aux tables

Il est indéniable que les tables interactives et coopératives apportent pas mal d'avantages par rapport aux ordinateurs traditionnels (interaction naturelle, collaboration, etc.). Cependant, l'utilisation de ces tables soulève quelques problèmes. Le but de ce chapitre est de les examiner et de montrer quelles solutions ont été trouvées pour les résoudre ou les atténuer.

### 5.1 Orientation

Cette section se réfère à [Kruger, Carpendale, Scott, & Greenberg, 2003], [Kruger, Carpendale, Scott, & Greenberg, 2004], [Poirier, 2007] et [Scott, Grant, & Mandryk, System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display, 2003].

Lors de l'utilisation d'une table interactive, les utilisateurs peuvent être disposés à différents endroits de la table. Il se peut donc que tous n'aient pas le même angle de vision sur l'information. Certains risquent de voir l'information à l'endroit alors que d'autres la verront à l'envers. L'orientation des éléments de la table a donc beaucoup d'importance pour la collaboration.

#### 5.1.1 Gestion de l'orientation

L'idéal serait évidemment d'avoir une interface non orientée, c'est-à-dire qui n'exige pas une orientation particulière pour être comprise. Malheureusement, cela n'est que très peu applicable. En effet, si des éléments tels que des menus, textes, etc. sont utilisés dans l'interface, l'orientation devient vite un problème. Pour gérer ce problème d'orientation, il existe plusieurs approches qui sont décrites ci-dessous.

##### *Orientation fixe*

Certaines interfaces utilisateurs de tables vont proposer et assumer une orientation fixe. Pour cela, elles vont par exemple faire l'hypothèse que tous les participants se trouveront du même côté de la table et qu'ils auront donc un même point de vue.

##### *Orientation manuelle*

Une autre approche relativement simple est de laisser l'utilisateur orienter lui-même les éléments de la table. Cette approche requiert un mécanisme simple de rotation pour que l'utilisateur puisse facilement orienter les éléments qu'il désire, comme il le ferait avec une feuille de papier sur un bureau.



## ***Orientation automatique***

L'orientation automatique est la troisième approche possible. Le système va automatiquement présenter l'information dans le meilleur sens possible pour l'utilisateur.

Certaines tables, comme la DiamondTouch [Dietz & Leigh, 2001], permettent d'identifier quel utilisateur réalise l'interaction sur un élément. Grâce à cette information, la table peut orienter cet élément du côté où doit logiquement se trouver l'utilisateur. Par exemple, la table pourrait supposer que si c'est l'utilisateur numéro un qui interagit alors, c'est qu'il faut orienter l'élément à « gauche de la table » car c'est de ce côté que l'utilisateur doit se trouver. Cependant, cette technique n'est pas la plus optimale car il se peut que l'utilisateur ne soit pas exactement à cet endroit, il se peut qu'il ait légèrement bougé.

D'autres méthodes existent et permettent d'identifier plus précisément l'orientation des utilisateurs et ainsi de mieux orienter les éléments de la table vers eux. C'est notamment le cas des recherches de Jinwook, Jong-gil et Heedong [2009] qui ont permis de développer un algorithme qui détecte l'orientation probable des utilisateurs grâce à l'orientation de leurs doigts lors des interactions avec la table. Comme le montre la Figure 5.1, l'algorithme analyse l'image du périphérique d'entrée de la table afin de trouver l'orientation du doigt et ainsi pouvoir aligner le contenu de la table pour l'utilisateur. Cette technique ne fonctionne évidemment qu'avec les tables utilisant un périphérique d'entrée de type optique.



Figure 5.1 : Orientation d'un élément de la table en fonction de l'orientation du doigt.

Source: [Jinwook, Jong-gil, & Heedong, 2009, p. 467]

### 5.1.2 Rôles de l'orientation

Comme les recherches de Kruger et al. [2003] l'indiquent, l'orientation ne se résume pas à « l'utilisateur voit l'information à l'envers » ou « l'utilisateur voit l'information à l'endroit », elle est plus complexe que cela. Elle joue en réalité trois rôles distincts.

#### *Compréhension*

Le premier rôle, qui est le plus évident, est celui de la compréhension. En effet, il est difficile d'interpréter quelque chose (symbole, texte, etc.) si celui-ci est mal orienté. L'utilisateur va donc orienter l'information vers lui et ainsi se faciliter la lecture.

Il peut aussi vouloir réorienter les éléments de la table afin d'accomplir au mieux sa tâche. Par exemple, il ne va pas nécessairement orienter, de la même façon, un élément qu'il doit lire ou un élément sur lequel il doit écrire de manière manuscrite (légère inclinaison pour l'écriture par exemple).

Enfin, pour améliorer sa compréhension, l'utilisateur peut être amené à réorienter les éléments afin de les voir sous différents angles, surtout si les éléments ont plusieurs « sens de lecture ».

#### *Coordination*

Le second rôle de l'orientation est celui de la coordination des interactions entre les différents participants.

L'orientation permet de distinguer à la fois des zones de collaborations et des zones personnelles. Si un utilisateur place des éléments près de lui et orientés vers lui, c'est qu'il s'agit d'une zone personnelle de travail. Par contre, si l'utilisateur place des éléments dans une zone plus centrale de la table et qu'il oriente ces éléments vers les autres participants (à l'envers pour lui), c'est qu'il s'agit plutôt d'une zone collaborative (zone de groupe).

L'appartenance d'un élément de la table à un utilisateur est notamment définie par son orientation. Un utilisateur aura en réalité, plus envie d'interagir avec un élément qui est orienté vers lui que s'il ne l'est pas. Ainsi, s'il oriente un objet vers lui, cela signifie qu'il lui appartient. Par contre, s'il le tourne vers les autres utilisateurs, alors il le partage avec eux.

## ***Communication***

La communication est le dernier rôle joué par l'orientation. Par exemple, un utilisateur va orienter un objet vers lui pour signaler qu'il ne désire pas communiquer avec les autres, qu'il réalise son travail seul.

Par contre, s'il dirige un objet vers une autre personne, cela a pour conséquence de débiter une communication entre ces deux personnes. Le raisonnement est identique si l'utilisateur dirige un objet vers un groupe. Il y aura un établissement de communication entre l'utilisateur et les membres du groupe.

### **5.1.3 Recommandations ergonomiques**

Après avoir vu les trois rôles que jouent l'orientation (compréhension, coordination et communication), il est important d'évoquer certaines recommandations ergonomiques qui doivent être appliquées dans le but de respecter au mieux ces rôles.

#### ***Rotation libre***

Il est nécessaire qu'un mécanisme soit mis en place pour permettre des rotations libres allant de 0 à 360 degrés des éléments de la table. De plus, l'utilisateur doit pouvoir déplacer les éléments (translations) où il le désire sur la table. Tout cela, dans le but de pouvoir placer des éléments à la fois dans les espaces de groupe ainsi que dans les espaces personnels.

#### ***Technique de rotation***

L'utilisateur étant amené à réaliser beaucoup de rotations, il est préférable que le mécanisme permettant de réaliser ces rotations soit facile à réaliser pour lui. Cela, dans le but de ne pas interférer dans les rôles de coordination et de communication pour lesquels la rotation est faite.

#### ***Maintien de la rotation de l'utilisateur***

Le système de la table doit éviter de réorienter les éléments qui ont déjà été orientés par l'utilisateur lui-même, sans l'accord de ce dernier. Un système de réorientation totalement automatique pourrait influencer à la fois la communication et la coordination des activités collaboratives des utilisateurs.

#### ***Signalement des rotations***

Lorsqu'un utilisateur réalise une rotation pour déclencher une communication ou pour rendre un objet disponible auprès des autres participants, il ne faut pas que celle-ci se fasse d'un seul coup (par

ex. par l'appui sur un bouton). Il est préférable que la rotation se fasse de manière continue et dure un certain temps afin qu'elle soit bien visible par les autres participants. Il faut aussi éviter qu'un utilisateur ne puisse pas remarquer la rotation, pour ne pas perturber le travail collaboratif.

### ***Orientation automatique***

Les systèmes d'orientation automatique d'éléments de la table doivent être utilisés avec parcimonie. Ces systèmes peuvent à certains endroits de la table, minimiser le travail de l'utilisateur. Par contre, à d'autres endroits, il est préférable de le laisser choisir lui-même l'orientation des éléments. Il faut donc trouver un juste milieu entre orientation automatique et manuelle.

Il est aussi préférable, si un système d'orientation automatique est mis en place, de laisser l'utilisateur pouvoir quand même réorganiser les éléments orientés automatiquement. L'utilisateur doit pouvoir avoir la main sur tous les éléments.

## **5.2 Éléments textuels**

Cette section est inspirée de [Tinker, 1956] et [Wigdor & Balakrishnan, 2005].

A la suite de l'examen du problème de l'orientation des éléments en général (symbole, texte, etc.) sur table interactive et coopérative, les éléments textuels et leur problème d'orientation vont être abordés ici plus particulièrement.

Les premières recherches détaillées sur la question de l'orientation et son effet sur la lecture ont été faites par Tinker [1956]. Celles-ci ont montré que la vitesse de lecture de plusieurs paragraphes de texte est ralentie<sup>1</sup> d'un peu plus de 50% si le texte est orienté à plus 45 degrés ou moins 45 degrés (voir Figure 5.2 pour les degrés de rotation correspondant).

Par contre, si le texte est orienté à plus 90 degrés ou moins 90 degrés, la vitesse de lecture est alors ralentie<sup>1</sup> de plus de 200%. Cette étude montre donc l'effet assez significatif de l'orientation du texte sur la vitesse de lecture.

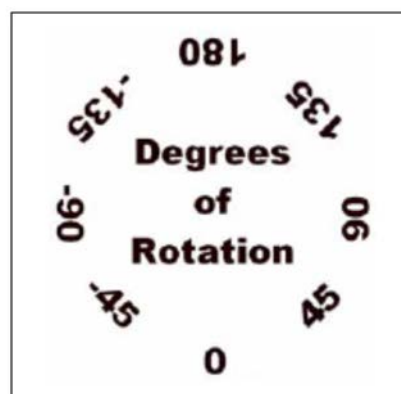


Figure 5.2 : Différents degrés de rotation d'un texte.  
Source: [Wigdor & Balakrishnan, 2005, p. 207]

Cependant, une étude empirique plus récente de Wigdor et Balakrishnan [2005] à propos de l'effet de l'orientation sur la lisibilité du texte nuance ces résultats. Pour cette étude, il ne s'agit plus

---

<sup>1</sup> Par rapport à une lecture faite avec un angle de rotation égal à zéro degré.

d'une lecture de plusieurs paragraphes mais plutôt de petits mots (5 à 6 lettres), de nombres composés de 6 chiffres et de phrases de 6 à 7 mots. Pour un angle de 90 degrés, ils obtiennent une lecture moins rapide<sup>1</sup> de 26% pour les petits mots, 17% pour les chiffres et 54% pour les phrases.

Wigdor et Balakrishnan [2005] obtiennent donc des résultats qui montrent un plus faible impact de l'orientation du texte sur la vitesse de lecture que ceux de Tinker [1956]. Cela peut s'expliquer tout d'abord par le fait que leur étude ne s'applique plus sur de longs paragraphes mais plutôt sur de petites phrases plus faciles à comprendre.

La deuxième explication réside dans les conditions dans lesquelles les participants étaient soumis. Pour la seconde étude (2005), les participants avaient le droit de bouger leur tête et leur corps, ce qui n'était pas permis dans la première étude, mais qui semble pourtant tout à fait normal lors d'une utilisation d'une table interactive.

### **5.2.1 Recommandations ergonomiques**

Les recommandations ergonomiques concernant les éléments textuels sur table interactive que l'on peut tirer de ces deux études sont les suivantes.

S'il est nécessaire d'avoir une vitesse de lecture rapide ou s'il s'agit de longues phrases, il est préférable que les éléments textuels soient orientés face à l'utilisateur (zéro degré de rotation).

S'il s'agit de nombres (quelques chiffres), de petits mots voire de petites phrases, il n'est pas nécessaire de s'assurer que tous les utilisateurs de la table voient les éléments textuels avec zéro degré de rotation. Cette recommandation ergonomique permet notamment de ne pas devoir créer des interfaces surchargées par des répliques de texte qui permettent de s'assurer que tous les utilisateurs aient les éléments textuels face à eux. Ainsi, en évitant ces répliques, il est possible de gagner pas mal de place sur la table. Cette place gagnée n'est pas négligeable car la taille et la faible résolution de certaines tables peuvent parfois poser problème. Cette problématique va être traitée ci-dessous.

---

<sup>1</sup> Par rapport à une lecture faite avec un angle de rotation égal à zéro degré.

### 5.3 Faible résolution du périphérique de sortie

Cette section se base sur les travaux de [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010], [Rogers, Lim, & Hazlewood, 2006] et [Tuddenham, 2008].

Comme nous l'avons vu à la section 2.1, l'un des inconvénients des tables interactives utilisant comme périphérique de sortie le projecteur est la faible résolution de celles-ci. Cela implique que moins d'informations peuvent être affichées simultanément et qu'il n'est pas possible d'afficher des éléments forts détaillés nécessitant plus de résolution (plans d'architecte, images médicales,...).

Tout d'abord, reprenons la définition de la résolution pour un écran : «*The resolution of a display is the number of pixels it has per unit distance*<sup>1</sup> » [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 74].

L'unité de distance utilisée par convention pour les moniteurs et imprimantes est le inch<sup>2</sup>.

La résolution d'un écran est donc exprimée en pixel per inch (ppi ou en français, pixel par pouce).

On peut utiliser la formule suivante pour obtenir la résolution d'un écran :

$$\text{résolution d'un écran en ppi} = \frac{\text{nombre de pixels sur la diagonale de l'écran}}{\text{longueur en pouces de la diagonale de l'écran}}$$

Ainsi, par exemple, pour un écran traditionnel d'ordinateur de 19 pouces avec un affichage de 1366 sur 768 pixels, on obtient la résolution suivante :

$$\frac{\sqrt{1366^2 + 768^2}}{19} = 82 \text{ ppi}$$

Par contre, si on calcule la résolution de la table interactive Microsoft Surface [Microsoft Corporation, 2008] qui utilise un projecteur avec un affichage de 1024 sur 768 pixels comme périphérique de sortie et qui propose un écran de 30 pouces, on obtient :

$$\frac{\sqrt{1024^2 + 768^2}}{30} = 43 \text{ ppi}$$

On remarque donc bien la différence de résolution entre un écran traditionnel d'un ordinateur et celui d'une table interactive qui utilise un projecteur d'affichage moyen. L'écran d'ordinateur a presque une résolution deux fois meilleure. Cependant, certains projecteurs proposent actuellement des affichages de 1920 sur 1080 pixels. Ceux-ci restent encore très chers.

---

<sup>1</sup> La résolution d'un écran est le nombre de pixels qu'il possède par unité de distance.

<sup>2</sup> 1 inch = 25,4mm

Les recherches de Tuddenham [2008] recommandent qu'une table interactive qui désire afficher des éléments textuels avec une taille de police de minimum 12 points doit avoir une résolution minimum d'environ 48 ppi. Pour une taille de 10 points, la table doit avoir une résolution de 60 ppi [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010].

### 5.3.1 Recommandation ergonomique

Il est nécessaire de se référer à la résolution (en ppi) du périphérique de sortie (projecteur ou écran) utilisé par la table interactive afin de savoir quelle taille minimum de police peut être utilisée pour les interfaces utilisateurs (48 ppi = min. 12 pts, 60 ppi = min. 10 pts).

### 5.3.2 Solutions

Afin de palier la faible résolution des tables interactives, il existe plusieurs solutions dont deux sont expliquées ci-dessous.

#### *Projecteurs multiples*

Une première solution consiste à utiliser plusieurs projecteurs comme périphérique de sortie (Figure 5.3). Grâce à cette technique, il est possible d'augmenter la résolution de manière assez significative.

Cependant, cette technique n'est pas sans inconvénient. Outre le fait que le prix de plusieurs projecteurs peut vite devenir exorbitant, il n'est pas facile de « coller » les images des différents projecteurs pour en former une seule grande.



Figure 5.3 : Six projecteurs comme périphérique de sortie.  
Source : [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 78]

Tout d'abord, lors du « collage », les images des projecteurs peuvent légèrement se superposer comme on le voit sur la Figure 5.4. Les images n'étant pas projetées toujours de manière rectangulaire (car le projecteur ne se trouve pas dans une position perpendiculaire à la surface de projection), il est nécessaire qu'elles se recouvrent légèrement afin de ne pas laisser d'espace vide entre elles. Les travaux de Ashdown, Tuddenham et Robinson [2010] proposent des techniques permettant de gérer ce premier problème.

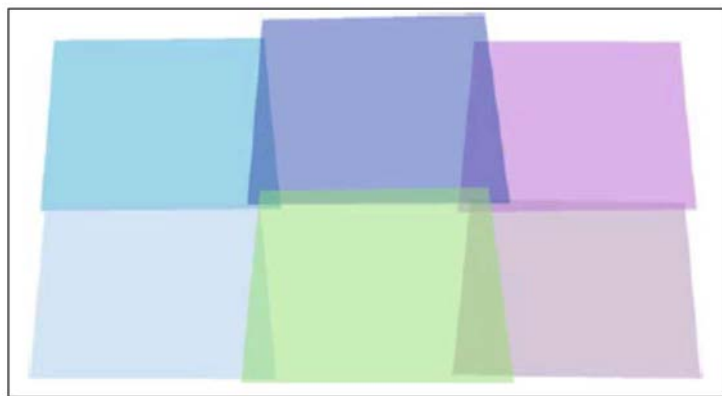


Figure 5.4 : Représentation de l'arrangement des images de six projecteurs avec recouvrements.

Source : [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 84]

Le deuxième problème dû au « collage » est la différence de couleur des images entre les différents projecteurs. Il est possible de régler cette différence de couleur en modifiant manuellement les paramètres des projecteurs (luminosité, contraste, balance des couleurs,...) mais avec un grand nombre de projecteurs, cela devient vite fastidieux. C'est pour cela que Ashdown, Tuddenham et Robinson [2010] ont développé la méthode « Photometric Compensation » qui permet de gérer de manière plus automatisée ce problème de couleur.

Le dernier point qu'il ne faut pas négliger lors de l'utilisation de plusieurs projecteurs est l'intégration de ceux-ci dans le système. Il faut savoir qu'actuellement un ordinateur peut gérer jusqu'à huit projecteurs simultanément. Pour cela, celui-ci doit posséder plusieurs cartes graphiques que le système doit pouvoir gérer.

### ***Extension de la zone de travail***

La seconde solution pour pallier la faible résolution des tables interactives et coopératives, consiste à étendre leurs zones de travail en dehors de celles-ci. Pour cela plusieurs approches sont possibles.

La première consiste à utiliser des écrans externes verticaux en plus de la table interactive (Figure 5.5). Ces écrans sont des zones communes supplémentaires de collaboration pour les participants. Ils ne permettent pas nécessairement une interaction directe (écrans non tactiles) et sont alors « commandés » depuis la table.

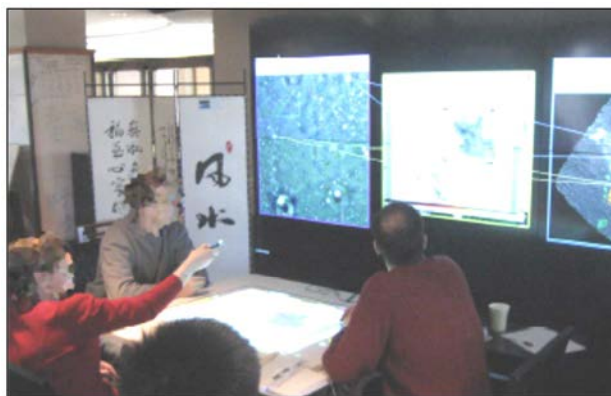


Figure 5.5 : Extension de la zone de travail avec écrans verticaux.

Source : [Wigdor, Jiang, Forlines, Borkin, & Shen, 2009, p. 1242]



La seconde solution propose d'utiliser des périphériques personnels tels que tablettes tactiles, Smartphones, ordinateurs portables,... afin d'étendre la zone de travail personnelle des utilisateurs (Figure 5.6). Les utilisateurs peuvent alors transférer des éléments de la table vers leur périphérique personnel et vice-versa.

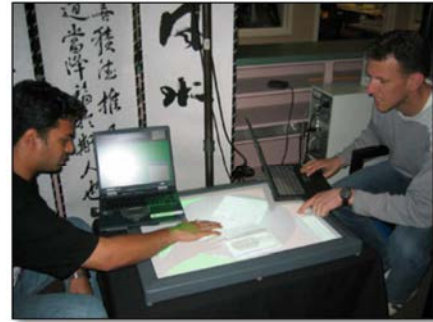


Figure 5.6 : Extension de la zone de travail avec ordinateurs portables.

Source : [Shen, Everitt, & Ryall, 2003, p. 2]

La troisième possibilité est d'étendre la zone de travail au monde réel. Pour cela, des objets physiques de la pièce où se trouve la table sont interconnectés (par RFID<sup>1</sup>, étiquettes visuelles,...) avec la table. On se rapproche ici du concept des interfaces tangibles (voir point 4.1.3 ). Rogers, Lim et Hazlewood [2006] ont exploité cette extension avec le monde réel dans leurs travaux (Figure 5.7). Pour cela, ils utilisent des objets physiques comportant des étiquettes RFID que l'utilisateur peut choisir dans la pièce. Ensuite, l'utilisateur a la possibilité de les placer sur un lecteur RFID. Celui-ci identifie l'objet et transmet cette information à la table interactive. Cette dernière va alors représenter cet objet de manière virtuelle permettant à l'utilisateur d'interagir avec lui non plus dans le monde réel mais dans un monde virtuel.

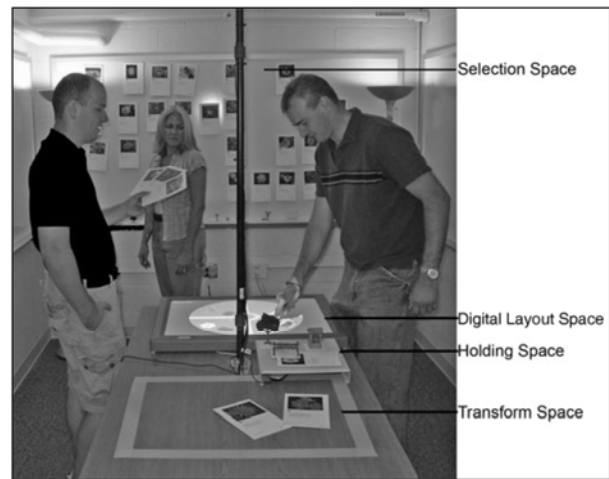


Figure 5.7 : Extension de la zone de travail avec le monde réel.

Source : [Rogers, Lim, & Hazlewood, 2006, p. 74]

<sup>1</sup> Radio Frequency IDentification est une technologie utilisant les ondes radio pour communiquer à distance avec des étiquettes.

## 5.4 Taille de la surface d'interaction

Cette section se réfère à [Lee, Lee, Kim, & Kim, 2007], [Poirier, 2007] et [Ryall, Forlines, Shen, & Morris, 2004].

En regardant les données du graphique de la Figure 5.8, on constate que les tailles des surfaces d'interactions peuvent varier fortement. Celles-ci commencent à plus ou moins 70 cm pour de petites tables et peuvent aller jusqu'à plus de deux mètres et demi pour des tables accueillant huit personnes.

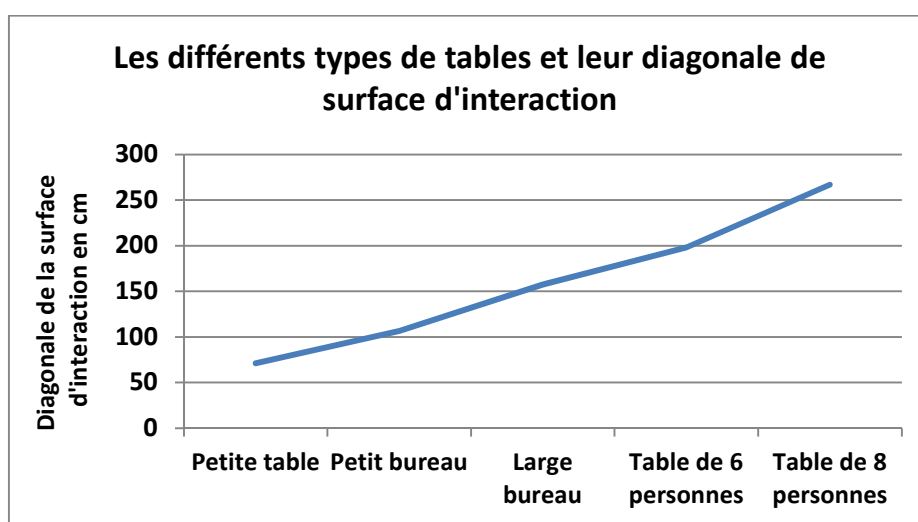


Figure 5.8 : Différents types de tables et leur diagonale de surface d'interaction.  
Source des données: [Ashdown, Tuddenham, & Robinson, 2010, p. 79]

Le fait que les surfaces d'interactions peuvent être assez grandes peut apporter quelques problèmes ergonomiques.

### 5.4.1 Visibilité

Tout d'abord, il est possible que tous les participants ne puissent pas lire ou visualiser un élément de la table qui se trouve à une trop grande distance d'eux. Si cet élément doit être partagé à l'ensemble des participants, il est alors nécessaire de mettre en place des mécanismes permettant par exemple de répliquer l'élément à plusieurs endroits de la table.

Par contre, cette situation de non visibilité peut dans certains cas être un avantage. En effet, si par exemple, un utilisateur désire une certaine confidentialité de sa zone personnelle de travail, une table avec une grande surface d'interaction peut être bénéfique.

En relation avec la section précédente, plus les surfaces d'interaction sont grandes, plus il est nécessaire que le périphérique de sortie ait un affichage avec beaucoup de pixels. Sans quoi, il risque de voir sa résolution fortement diminuer.

### 5.4.2 Accessibilité physique

Un second inconvénient des grandes surfaces d'interaction est l'accessibilité physique des éléments de la table. Dans le contexte des tables interactives, si un objet n'est pas accessible physiquement, alors il est impossible d'interagir avec lui. Cette situation est donc très problématique.

Pour tenter d'en sortir, l'utilisateur pourrait demander à un autre utilisateur plus proche de l'élément désiré, de le lui passer. Des techniques existent permettant de « lancer » un objet d'un endroit à un autre de la table comme on le ferait avec une feuille de papier sur une table traditionnelle.

Mais, que faire si aucun utilisateur n'est présent près de l'élément voulu ? Il serait alors nécessaire de se déplacer autour de la table afin d'accéder à l'élément. Cependant, ce déplacement risque d'apporter des changements au contexte d'interaction et de coopération qui a été mis en place jusque-là par les participants. Il est donc nécessaire d'avoir d'autres méthodes permettant d'accéder à des éléments éloignés sur la table.

Une des méthodes permettant d'accéder un tel élément sans devoir se déplacer ni solliciter l'intervention d'un autre utilisateur est celle de Lee et al. [2007] nommée *Fast Fetching Technique Using Proxy*. La Figure 5.9 nous montre un utilisateur en train d'actionner le mécanisme de sélection à distance d'éléments. Ce mécanisme s'apparente à un arc de cercle coloré dont la longueur et l'angle peuvent être ajustés par des gestes (déplacement vertical du ou des doigts pour la longueur et déplacement horizontal de la main pour l'angle).

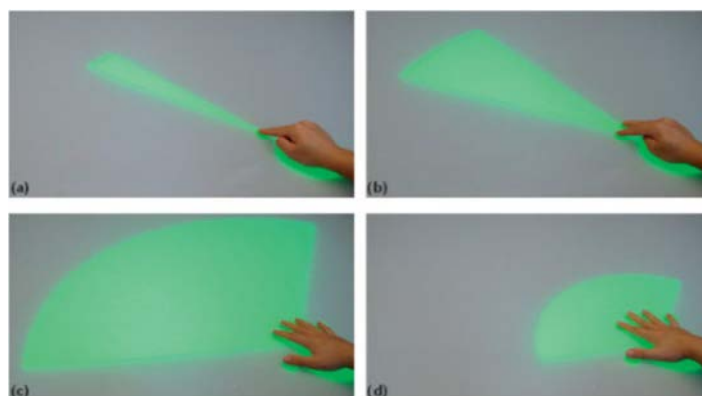


Figure 5.9 : Récupération d'objets à distance (arc de sélection).

Source : [Lee, Lee, Kim, & Kim, 2007, p. 127]

Une fois les gestes terminés, des copies des éléments se trouvant dans la zone de l'arc sont affichées près de la main de l'utilisateur. Ce dernier peut alors sélectionner un ou plusieurs éléments auxquels il désire accéder (Figure 5.10).

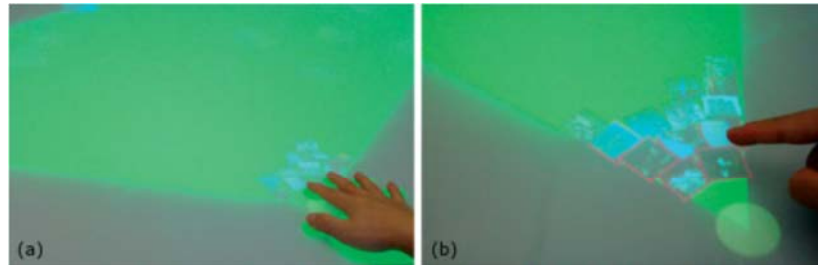


Figure 5.10 : Récupération d'objets à distance (sélection des copies).  
Source : [Lee, Lee, Kim, & Kim, 2007, p. 127]

### 5.4.3 Collaboration

Du point de vue de la collaboration, l'étude de Ryall, Forlines, Shen et Morris [2004] révèle que les différentes tailles des surfaces d'interactions n'influence pas la rapidité d'exécution d'une tâche collaborative<sup>1</sup>. Ces différentes tailles peuvent par contre apporter à la fois des points positifs et négatifs, cela dépend du domaine d'utilisation des tables.

Par exemple, pour des tâches de productivité, il peut être utile d'avoir une grande surface d'interaction. Ainsi, les participants peuvent appliquer le paradigme « diviser pour régner ». Chacun d'eux dispose d'une surface personnelle de travail de bonne taille en plus d'une surface commune.

En revanche, pour des activités plus divertissantes, il est préférable d'avoir des surfaces d'interactions plus petites. Celles-ci permettant notamment de renforcer le sentiment de convivialité et de plaisir. Pour des tâches requérant une bonne visibilité des actions réalisées par les autres utilisateurs, une petite taille est aussi recommandée.

---

<sup>1</sup> Pour cette étude, ils n'ont pas tenu compte de l'accessibilité physique ni de la résolution des tables.

## 5.5 Saisie de texte

Cette partie s’inspire de [Hinrichs, Hancock, Collins, & Carpendale, 2007], [Kölsch & Turk, 2002] et [Sears, 1991].

La saisie de texte est un élément vital et est très fréquemment utilisée dans l’informatique d’aujourd’hui. Lors de l’utilisation d’un ordinateur traditionnel, cette saisie se fait au moyen d’un clavier physique. Cependant, dans le contexte des tables interactives, le couple souris-clavier n’est plus le moyen d’interaction principal.

Cette section examine les différentes méthodes de saisie de texte qui peuvent être utilisées dans le contexte des tables interactives. Celles-ci peuvent se classer en deux groupes : les saisies externes à la table (par ex. clavier physique) et les saisies sur écran (par ex. clavier virtuel tactile).

Avant de développer ces deux groupes, les différentes caractéristiques attendues d’une saisie de texte sur table interactive vont être présentées.

### 5.5.1 Caractéristiques attendues

#### *Performance*

Tout d’abord, on attend d’une méthode de saisie de texte qu’elle soit performante. Pour cela, il faut qu’elle soit efficace. Pour la saisie de texte, l’efficacité est souvent jugée par la vitesse d’encodage de l’utilisateur (nombre de mots par minute).

Il est aussi important que la méthode de saisie soit facile à apprendre sous peine de ne pas être adoptée par l’utilisateur. Il faut être attentif au fait que très peu de méthodes sont à la fois efficaces et faciles à apprendre.

#### *Adaptation à l’environnement*

Il est aussi nécessaire que la saisie de texte puisse s’adapter au contexte des tables interactives qui est bien sûr différent de celui des ordinateurs traditionnels, Smartphones ou tablettes électroniques.

Le fait que les tables interactives proposent un espace de travail assez grand, il est possible d’avoir un système de saisie qui occupe plus de place que sur un Smartphone par exemple. Ainsi, on peut avoir des méthodes permettant l’interaction à plusieurs doigts ou plusieurs mains pour une meilleure saisie du texte.

Dans le cadre des saisies sur écran, en général, la méthode de saisie est affichée au-dessus des autres éléments de la table (superposition). Il faut donc faire attention de ne pas utiliser trop d'espace pour cette méthode de saisie, sous peine d'occulter une trop grande partie des informations de la table. De plus, il est recommandé d'afficher la méthode de saisie uniquement lorsque l'utilisateur en a besoin. Cela, dans le but de garder le maximum de place sur l'écran lorsqu'elle n'est pas utilisée.

Par contre, pour les méthodes de saisie externe, l'avantage est qu'elles n'interfèrent pas avec le contenu de la table. Cependant, il est nécessaire de trouver une solution pour que l'utilisateur puisse ranger la méthode de saisie externe lorsqu'il ne désire plus l'utiliser. Par exemple, pour un clavier physique, il n'est pas toujours facile de trouver une solution. On peut imaginer des espaces de rangement dans la table mais cela n'est pas toujours possible (par ex. lorsque la table utilise un mécanisme de projection arrière, il n'y a pas d'espace disponible sous la table). Peu importe la solution trouvée, le rangement des méthodes externes reste souvent plus contraignant pour l'utilisateur que celui des méthodes sur écran où il suffit souvent d'appuyer sur un simple bouton.

Pour les saisies externes, il se peut aussi que l'utilisateur doive se reculer légèrement de la table pour pouvoir encoder son texte. Il faut donc pouvoir lui laisser suffisamment de place. Cependant, les méthodes requérant un léger recul ne sont pas toujours les meilleures. L'utilisateur en se reculant risque de perdre sa vue d'ensemble sur les éléments de la table et être légèrement exclu de la collaboration.

Parfois, lors de l'utilisation des tables interactives, il est possible de se déplacer autour de celles-ci pour, notamment, avoir plusieurs points de vue. Il est alors nécessaire d'avoir un mécanisme de saisie qui permet la mobilité. Il n'est par exemple pas envisageable d'utiliser des claviers physiques filaires dans ce cas.

Un dernier point concernant l'adaptation à l'environnement est celui de la direction dans laquelle l'utilisateur va réaliser sa saisie. Il se peut que celui-ci ne soit pas disposé de manière parallèle à un côté de la table. Il peut être légèrement incliné ou se trouver à un angle de la table. Il est donc souhaitable de mettre en place un système permettant la rotation du mécanisme de saisie. Pour les méthodes externes, cela ne pose généralement pas trop de problèmes car c'est l'utilisateur qui va directement tourner lui-même le mécanisme. Par contre, pour les saisies sur écran, il est nécessaire que la rotation soit gérée par programmation.

## *Interactions simultanées*

Un dernier élément à ne pas négliger concerne la gestion de plusieurs interactions simultanées par plusieurs personnes.

Si l'utilisation de la table ne requiert que très peu de saisie de texte, il peut être envisagé de n'avoir qu'un seul composant permettant l'encodage pour tous les participants. Celui-ci doit alors être partageable facilement.

Par contre, si l'encodage est fréquent, il est nécessaire que chaque utilisateur puisse disposer de son propre système d'encodage. La table doit alors pouvoir gérer tous ces systèmes simultanément.

### **5.5.2 Saisies externes**

Le premier groupe de saisie de texte reprend les méthodes qui sont externes à la table. On y trouve : les claviers physiques traditionnels, les claviers physiques mobiles et la reconnaissance vocale.

#### *Claviers physiques traditionnels*

Le clavier physique traditionnel est un périphérique très bien connu des utilisateurs puisqu'il est l'un des moyens d'interaction principal d'un ordinateur classique. Celui-ci permet une saisie de texte assez rapide (56 mots par minute<sup>1</sup>). Il fournit aussi un retour tactile lors de la frappe ce qui améliore la saisie.

Il est possible d'avoir plusieurs agencements différents des touches. Les plus connus sont les claviers AZERTY et QWERTY. Cependant, ils ne sont pas nécessairement les meilleurs au niveau efficacité (nombre de mots par minute). D'autres agencements offrant une meilleure efficacité existent (par ex. clavier Dvorak) mais ils sont généralement très peu adoptés.

Les claviers physiques sont des périphériques externes généralement de forme rectangulaire et de grande taille. Ils nécessitent d'être posés sur une surface pour être utilisés.

Ses caractéristiques ne sont pas fort adaptées pour le contexte des tables interactives. En effet, la surface sur laquelle le clavier doit être posé n'est pas toujours disponible. De plus, par leurs relativement grandes tailles, les claviers sont assez encombrants et ne sont pas faciles à ranger une

---

<sup>1</sup> Vitesse de frappe d'un expert sur un clavier physique QWERTY.

fois l'encodage terminé. Enfin, l'utilisateur peut être perturbé lorsqu'il passe de la table au clavier puisqu'il s'agit de deux surfaces d'interactions différentes.

### ***Claviers physiques mobiles***

Les claviers physiques mobiles sont un autre moyen d'encodage de texte. Il s'agit de petits claviers externes avec des touches physiques tels que ceux employés par certains téléphones mobiles ou Smartphones. Ils proposent un retour tactile ainsi qu'une bonne vitesse de frappe (inférieure tout de même aux claviers physiques traditionnels).

Au niveau des touches, on peut soit rencontrer des claviers complets AZERTY, QWERTY miniaturisés ou alors de plus petits claviers avec moins de touches comme sur un téléphone mobile (il est alors nécessaire d'assigner plusieurs fonctionnalités pour une même touche).

Ce petit clavier mobile peut être une solution pour les tables interactives car il n'est pas trop encombrant. L'utilisateur peut le tenir dans une main tout en interagissant avec l'autre main sur la table. Il peut être facilement rangé (par ex. dans une poche) et il est assez familier pour l'utilisateur car déjà présent dans les téléphones mobiles ou Smartphones. Il ne nécessite pas de surface pour être déposé et utilisé (l'utilisateur l'utilise dans ses mains). Enfin, il peut être facilement partagé entre les différents participants.

### ***Reconnaissance vocale***

Une dernière méthode externe est la reconnaissance vocale. Pour cela, l'utilisateur doit disposer d'un microphone sur lui. Cette technique ne requiert aucun apprentissage, ce qui est très appréciable. La technologie de reconnaissance vocale a fait énormément de progrès ces dernières années, mais elle n'est pas encore optimale (reconnaissance parfois difficile due à l'accent, trouble du langage, bruits environnants, etc.).

La reconnaissance vocale n'est pas aussi rapide que l'encodage avec un clavier traditionnel. Des études ont aussi montré que les utilisateurs préfèrent plutôt utiliser un clavier que de parler à voix haute pour saisir du texte.

Cependant, cette technique a pour avantage de les rendre libres de circuler autour de la table et de les laisser interagir avec leurs deux mains sur la table tout en saisissant du texte.

Par contre, avec la reconnaissance vocale, ils sont obligés de parler à haute voix. Cela peut vite devenir problématique lorsque plusieurs travaillent autour de la table. Ils risquent de parler tous en même temps et ainsi perturber les autres participants.



### 5.5.3 Saisies sur écran

Le second groupe de saisie de texte recouvre les mécanismes de saisie de texte qui s'opèrent directement sur la surface d'interaction de la table. L'interaction se fait en général au moyen des doigts. La reconnaissance d'écriture manuscrite, les alphabets gestuels ainsi que les claviers virtuels font partie de ce groupe.

#### *Reconnaissance d'écriture manuscrite*

La reconnaissance d'écriture manuscrite est une technique assez intéressante puisque l'utilisateur peut utiliser une aptitude déjà existante chez lui (l'écriture) pour saisir du texte. Il écrit donc directement sur la surface d'interaction soit à l'aide de son doigt, soit à l'aide d'un stylet si la table le permet.

Les algorithmes de reconnaissance d'écriture manuscrite se sont fort améliorés ces dernières années et apportent de bons résultats. Cependant, l'écriture manuscrite sur table interactive étant relativement lente (environ 15 mots par minute), elle n'est pas idéale pour la saisie de longues phrases. Elle doit plutôt être utilisée pour de petites annotations.

A part cette mauvaise efficacité, la reconnaissance d'écriture manuscrite est très bien adaptée au contexte des tables interactives. Elle permet la saisie du texte dans n'importe quelle position autour de la table. Elle est en parfaite adéquation avec l'interaction au doigt sur table interactive et plusieurs participants peuvent l'utiliser simultanément sans interférence.

Pour cette technique, il est nécessaire de vérifier que la table interactive possède une résolution qui n'est pas trop faible afin de ne pas pénaliser la précision et la vitesse d'écriture. Il se peut aussi que l'utilisateur, en écrivant, pose son bras sur la table et crée ainsi quelques interférences (interactions avec la table non voulues).

#### *Alphabets gestuels*

Un second ensemble de techniques de saisie de texte sur écran, s'apparentant à l'écriture manuscrite, sont les alphabets gestuels. Ceux-ci ont été développés dans le but d'augmenter l'efficacité de l'écriture manuscrite. Ils ont été initialement prévus pour des téléphones mobiles tactiles mais peuvent être très bien utilisés dans le contexte des tables interactives.

Le principe de ces techniques repose sur des gestes. Chaque lettre de l'alphabet étant représentée par un geste distinct. L'idéal étant que les gestes soient simples à réaliser et à retenir pour l'utilisateur. Il faut aussi qu'ils soient facilement distinguables par l'ordinateur. Il existe plusieurs alphabets

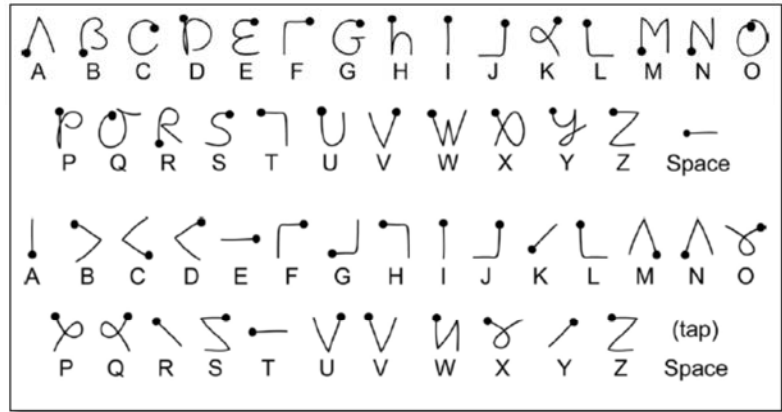


Figure 5.11 : Alphabets gestuels (Graffiti au-dessus, Unistrokes en-dessous).  
Source : [Castellucci & MacKenzie, 2008, p. 305]

gestuels (Unistrokes, Graffiti, etc.). Certains arrivent par exemple à une efficacité de 34 mots par minute mais en général, plus ils sont efficaces plus ils sont difficiles à apprendre.

Dans le contexte des tables interactives, les alphabets gestuels ont les mêmes avantages que l'écriture manuscrite (orientation quelconque, interaction au doigt et gestion de plusieurs utilisateurs simultanément).

### *Claviers virtuels*

Par rapport aux deux techniques précédentes, les claviers virtuels ont une représentation visuelle sur la table interactive. Cela est un avantage pour les utilisateurs débutants car la représentation visuelle peut leur servir de guide. La différence par rapport aux claviers physiques est qu'ils ne disposent pas de retour tactile lors de la frappe.

Par contre, les claviers virtuels permettent une très bonne intégration dans le contexte des tables interactives. Ils sont en parfaite adéquation avec l'interaction au doigt, peuvent être facilement orientable, supportent plusieurs utilisateurs simultanément et permettent la mobilité des participants. De plus, lorsqu'un participant n'a plus besoin d'encoder du texte, il peut très facilement faire disparaître le clavier virtuel en appuyant sur un bouton, ou cela peut même se faire de manière automatique. Il n'est donc plus nécessaire d'avoir des systèmes de rangement comme pour les claviers physiques.

L'inconvénient est que les claviers virtuels requièrent plus d'attention visuelle de la part de l'utilisateur que les autres méthodes. Il est donc nécessaire que le clavier ait une bonne conception visuelle sous peine de fournir de mauvaises performances.

On peut séparer les mécanismes de claviers virtuels en deux sous-groupes : les claviers tactiles et les claviers gestuels.

## Claviers tactiles

Les claviers tactiles sont des claviers qui ont une forme visuelle semblable aux claviers physiques. Ils sont donc souvent de forme rectangulaire ou carrée. Ils permettent une utilisation soit à un doigt, soit à plusieurs doigts, voire même à deux mains.

Au niveau de la disposition des touches, on retrouve souvent la disposition AZERTY, QWERTY mais il est possible d'avoir d'autres dispositions comme c'est le cas avec les claviers physiques. Pour une disposition QWERTY, un utilisateur peut atteindre une vitesse de frappe d'environ 25 mots par minute. Concernant la taille des touches, idéalement, leurs dimensions doivent être de 20mm minimum de côté afin de limiter les erreurs de frappes.

## Claviers gestuels

Les claviers gestuels, quant à eux, se basent sur le principe que pour encoder un mot, il ne faut plus taper sur des touches mais plutôt réaliser un geste continu qui passe sur les différentes lettres du mot souhaité. Le geste se fait de manière continue, c'est-à-dire sans retirer le doigt de la surface d'interaction. Comme il n'est pas nécessaire de devoir retirer le doigt de l'écran à chaque lettre comme sur un clavier tactile, l'efficacité de saisie est améliorée. Il faut cependant un petit temps d'adaptation pour utiliser ces claviers, l'utilisateur étant plutôt habitué à réaliser des pressions de boutons plutôt que des gestes.

Au niveau de l'agencement visuel des lettres, on peut avoir des agencements traditionnels (AZERTY, QWERTY, etc.) mais aussi d'autres types (circulaire par exemple) comme le montre respectivement la Figure 5.12 et la Figure 5.13.



Figure 5.12 : Le mot "the" encodé sur le clavier gestuel *Swype* (QWERTY).  
Source : [Castellucci & MacKenzie, 2011, p. 1510]

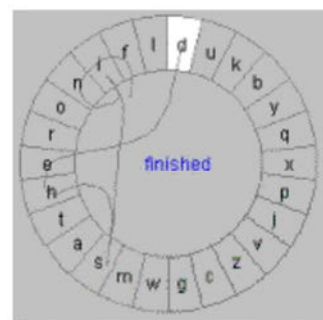


Figure 5.13 : Le mot "finished" encodé sur le clavier gestuel *Cirrin* (circulaire).  
Source : [Mankoff & Abowd, 1998, p. 213]

Il existe deux types de claviers gestuels. Ceux qui affichent toujours toutes les lettres et ceux qui n'affichent que les lettres nécessaires à la formation d'un mot (système de prédiction de mots).

Les claviers qui affichent toujours toutes les lettres ont l'inconvénient soit de demander plus d'espace pour afficher les lettres, soit de devoir réduire la taille de celles-ci. Si c'est la taille qui est diminuée, alors cela aura pour conséquence d'augmenter la difficulté de sélection des lettres lors du geste.

Les claviers « prédictifs » qui n'affichent que les lettres nécessaires requièrent moins de place mais demandent un certain apprentissage supplémentaire pour les utiliser.

#### 5.5.4 Recommandation ergonomique

L'examen des différentes techniques de saisie de texte pour table interactive et coopérative a montré que chacune d'elles a ses avantages et ses inconvénients. Il n'y a pas une technique qui sort véritablement du lot. Il est vrai que certaines sont plus adaptées à des situations que d'autres. Il est donc préférable de faire son choix en fonction du contexte d'utilisation de la table interactive.

Hinrichs et al. [2007, p. 110] proposent de se poser les questions suivantes afin de déterminer vers quelle solution de saisie de texte se tourner :

- « **What** is the purpose of the tabletop application? Is it a work application where efficiency is highly important or a walk-up interface where intuitive usage and visual adjustability become more important than efficiency? Does it require small annotations or the input of large amounts of text? » <sup>1</sup>
- « **Who** are the people that are going to interact with the tabletop display? Are they frequent keyboard users, novices, elderly people, children, etc.? » <sup>2</sup>
- « **How** are people going to interact with each other on the digital table? Does the task require mobility or simultaneous text entry? » <sup>3</sup>
- « **How often** will people interact with the system? Will it be worthwhile for them to learn a new text-entry method or will their use of the table be too infrequent? » <sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> « **Quel est le but** de l'application de la table ? Est-ce une application où l'efficacité est très importante ou est-ce plutôt une interface où l'utilisation intuitive et l'adaptabilité visuelle sont plus importantes que l'efficacité ? Est-ce qu'elle requiert de petites annotations ou la saisie de grandes quantités de texte ? »

<sup>2</sup> « **Quelles sont les personnes** qui vont interagir avec la table ? Sont-elles des utilisateurs fréquents du clavier, des novices, des personnes âgées, enfants, etc. ? »

<sup>3</sup> « **Comment** les participants vont-ils interagir les uns avec les autres sur la table ? Est-ce que la tâche nécessite la mobilité ou la saisie simultanée de texte ? »

<sup>4</sup> « **Combien de fois** les participants vont-ils interagir avec le système ? Cela vaut-il la peine pour eux d'apprendre une nouvelle méthode de saisie de texte ou vont-ils utiliser la table trop peu fréquemment ? »

## 5.6 Occlusion

Cette section se base sur les recherches de [Bachl, Tomitsch, Wimmer, & Grechenig, 2010], [Brandl, Leitner, Seifried, Haller, Doray, & To, 2009], [Shen, et al., Informing the Design of Direct-Touch Tabletops, 2006], [Vogel & Baudisch, 2007] et [Wang & Ren, 2009].

Un autre problème qu'il est nécessaire de soulever lors de l'utilisation des tables interactives et coopératives est celui de l'occlusion. En effet, lorsque l'utilisateur interagit avec la table, il cache les éléments qui se trouvent en-dessous de son doigt, de sa main, etc.

Ce problème d'occlusion est inhérent à toutes les technologies de périphérique de sortie (projection avant, projection arrière et écran), mais il est encore plus marqué lors de l'utilisation de la projection avant. En effet, dans ce cas, l'occlusion est aussi présente même si l'utilisateur n'interagit pas avec la table. Il suffit qu'un bras, une main ou même une tête se trouve entre la surface de projection et le projecteur pour qu'il y ait une occlusion comme le montre les encadrés ovales de la Figure 5.14.



Figure 5.14 : Occlusion sans interaction avec projection avant.

Source : [Shen, et al., 2006, p. 42]

Même s'il ne s'agit pas d'un problème majeur comme le souligne Poirier [2007, p. 59] : « *L'occlusion ne constitue pas cependant un problème majeur car c'est un phénomène qui existe avec la manipulation manuelle dans le monde réel auquel nous sommes habitués* », il est quand même intéressant de citer quelques techniques à mettre en place pour éviter au maximum les occlusions.

### 5.6.1 Manipulation à distance

Shen, et al. [2006] ont développé la technique *Puppetry* qui permet de réaliser à distance des opérations (copier, coller, etc.) sur un élément de la table (Figure 5.15). Le fait que ces opérations se fassent à distance permet d'une part, d'éviter l'occlusion de l'élément sur lequel l'utilisateur travaille et d'autre part, de travailler à plusieurs sur



Figure 5.15 : Sélection à distance d'une partie d'une image en évitant l'occlusion sur celle-ci.  
Source : [Shen, et al., 2006, p. 38]

ce même élément simultanément. Comme le montre la Figure 5.15, il y a toujours une occlusion sur la zone d'interaction à distance, mais cela est beaucoup moins gênant car la main ne cache pas l'image sur laquelle l'utilisateur travaille.

### 5.6.2 Retour visuel

En général, dans les interfaces utilisateurs, lorsqu'un bouton est pressé, un élément sélectionné, etc., il y a un retour visuel qui est affiché pour signaler l'interaction. Souvent, le retour visuel se fait par un changement de couleur, un effet d'ombre, etc. sur l'élément lui-même. Ces mécanismes fonctionnent très bien pour une

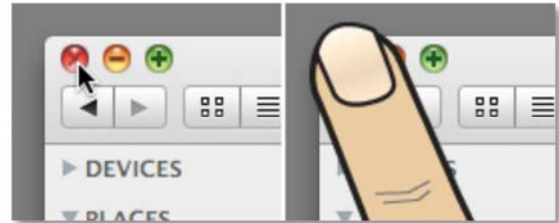


Figure 5.16 : Occlusion du retour visuel avec le doigt.  
Source : [Bachl, Tomitsch, Wimmer, & Grechenig, 2010, p. 3]

utilisation de l'interface à la souris. Toutefois, dans les tables interactives, ces retours visuels ne sont pas toujours perceptibles étant donné l'occlusion de l'élément par le doigt.

Wang et Ren [2009] conseillent d'avoir des dimensions minimums pour les éléments de la table qui soient adaptées à une utilisation aux doigts. Ils recommandent donc d'avoir une largeur minimum de 11,52 mm de côté pour les éléments carrés et un rayon minimal de 5,76 mm pour les éléments circulaires.

En plus de respecter une taille minimale, il peut être utile d'ajouter lors du retour visuel, un élargissement de l'élément concerné, comme le montre la Figure 5.17. Ainsi, avec cet élargissement lors de l'interaction, l'élément va dépasser la taille du doigt et deviendra plus visible.

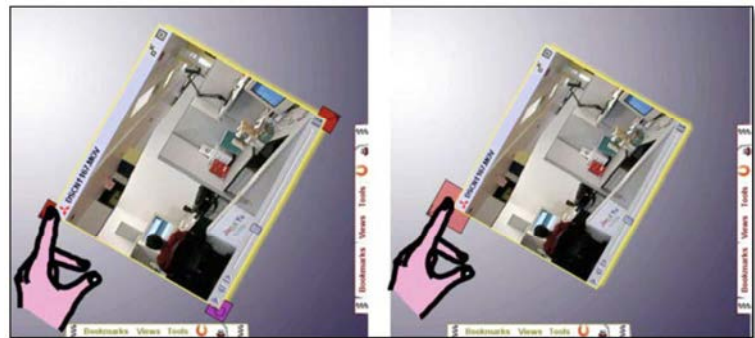


Figure 5.17 : Elargissement pour signaler l'interaction avec un élément.  
(sans élargissement à gauche et avec élargissement à droite).  
Source : [Shen, et al., Collaborative Tabletop Research and Evaluation, 2006, p. 116]

### 5.6.3 Éléments de petites tailles

Le point précédent a montré qu'il est préférable d'avoir une taille minimum pour les éléments (11,5 mm pour les éléments carrés et 5,76 mm pour les circulaires). Cependant, il se peut que certaines applications ne puissent pas respecter cette règle. Il existe donc des alternatives à cette recommandation. Par exemple, Vogel et Baudisch [2007] proposent un mécanisme qui montre ce qui se trouve en-dessous du doigt lors de l'interaction et qui permet la sélection d'éléments de petites tailles.

Ce mécanisme appelé *Shift* affiche une copie de la zone occultée par le doigt dans une zone non occultée. De plus, il affiche aussi un pointeur dans la copie afin de montrer précisément le point d'interaction du doigt et ainsi permettre une plus grande précision de sélection. Pour une meilleure ergonomie, il est préférable de n'activer ce mécanisme que lorsqu'il y a un souci d'occlusion sur de petits éléments. Sur des éléments de grandes tailles, il ne faut pas actionner ce mécanisme pour ne pas perturber l'utilisateur.

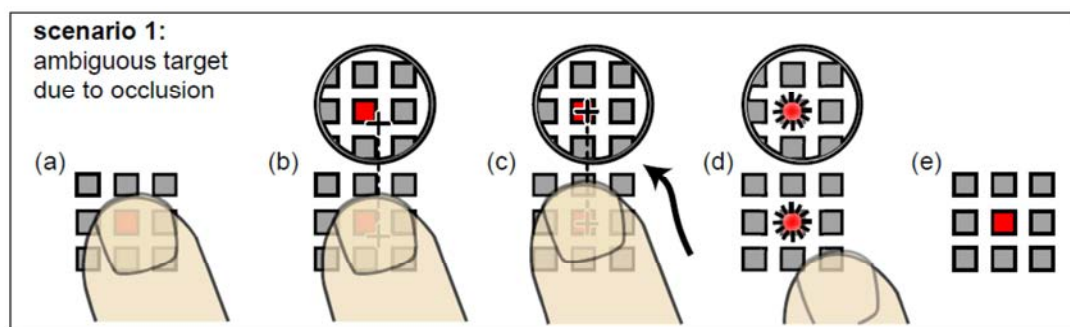


Figure 5.18 : Les étapes du mécanisme *Shift*. (a) *Shift* détecte un problème d'occlusion; (b) *Shift* affiche une copie de la zone occultée avec un pointeur; (c) l'utilisateur bouge son doigt afin de sélectionner l'élément cible avec le pointeur; (d) l'utilisateur relâche son doigt et l'élément est sélectionné; (e) La zone de copie est enlevée.

Source : [Vogel & Baudisch, 2007, p. 658]

### 5.6.4 Menus circulaires

Il existe d'autres contextes dans lequel l'occlusion est un problème sur table interactive. Par exemple, le cas du menu circulaire peut parfois être problématique. Si celui-ci est totalement circulaire, il se peut qu'une partie soit occultée par la main de l'utilisateur (environ 92 degrés sur 360). Pour améliorer



Figure 5.19 : Menu circulaire sans occlusion.

Source : [Brandl, Leitner, Seifried, Haller, Doray, & To, 2009, p. 3226]

cette situation, Brandl et al. [2009] ont développé un menu circulaire évitant l'occlusion. Ce dernier n'est pas totalement circulaire, il laisse, à l'emplacement de la main de l'utilisateur, une zone vide qui peut être occultée sans poser de problème.

## 5.7 Ergonomie physique

Cette section s'inspire de [Mairiaux, 2008] et [Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, 2006].

Les tables interactives et coopératives peuvent être conceptualisées comme des postes de travail. Dès lors, il est important d'analyser les contraintes ergonomiques liées à de tels postes.

La conception d'un poste de travail doit prendre en considération quatre aspects : la posture naturelle du corps, la prise d'information visuelle, les efforts éventuels à exercer et l'atteinte manuelle des « objets/commandes ».

Dans cette section, nous examinerons plus particulièrement la posture et la prise d'information visuelle. Les efforts étant généralement minimes lors d'une utilisation des tables interactives et coopératives, ils ne seront pas abordés. Quant à l'atteinte manuelle des « objets/commandes », le point 5.6.1 y a fait référence.



### 5.7.1 Posture de base

Il est reconnu que le maintien durant des durées prolongées d'une posture inadéquate peut avoir des effets à court (crampes,...), moyen (plaintes d'origine musculaire en dehors du temps de travail) et long terme (déformations compensatrices). Ainsi, il importe, pour prévenir l'apparition de ces effets, de définir ce qu'est une bonne posture de travail.

Pour cela, la Régie Renault propose un schéma de réflexion (Figure 5.20) permettant de choisir la posture la plus adaptée selon les exigences de la tâche effectuée par l'utilisateur ainsi que les caractéristiques de la table.

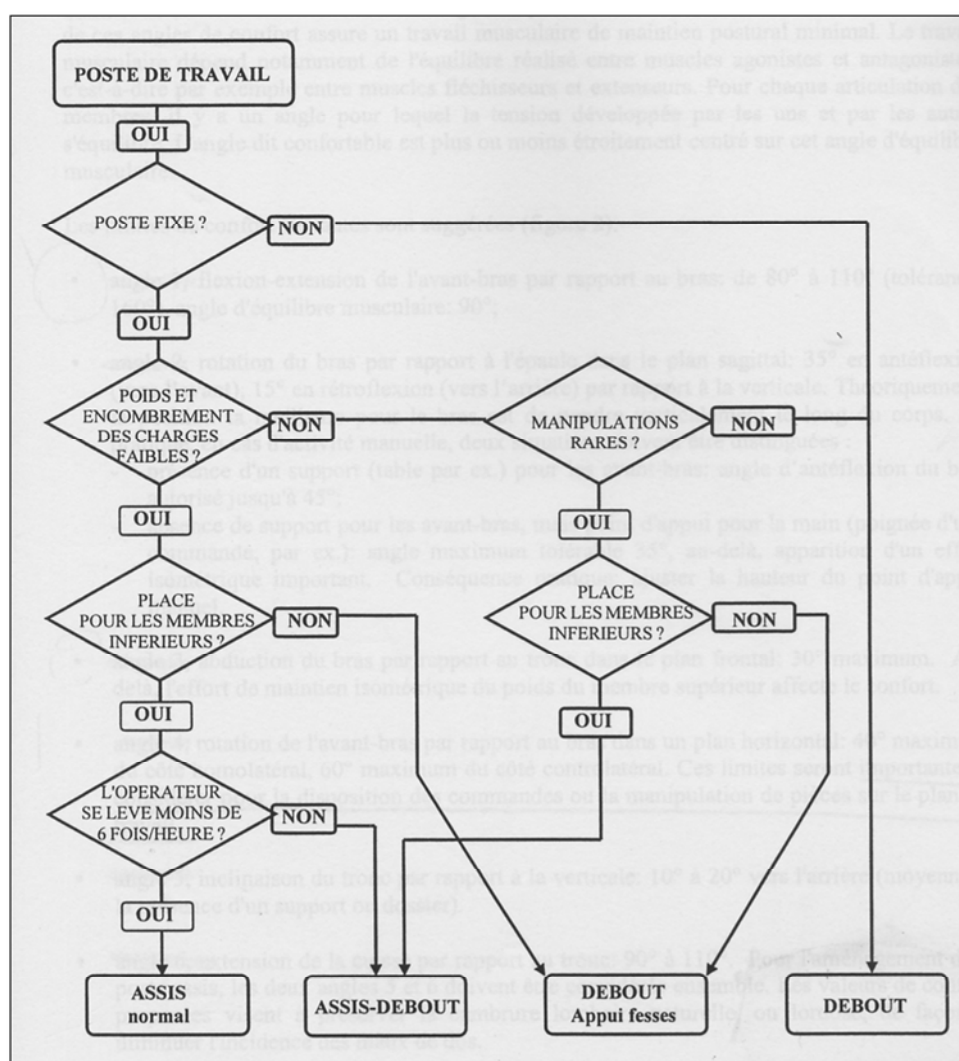


Figure 5.20 : Organigramme de la Régie Renault pour le choix de la posture de base.  
Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-2]

En général, les tables interactives sont des postes fixes. Tenant compte que le poids et l'encombrement des charges étant faibles, la posture à adopter sera soit une posture assis normal, soit assis-debout, soit debout avec appui fesses.

## 5.7.2 Critères pour rendre le poste de travail ergonomique

Il existe quatre critères dont il faut tenir compte pour rendre un poste de travail ergonomique : la hauteur du plan de travail, la durée du maintien, l'espace pour les membres inférieurs, les caractéristiques visuelles que nécessite la tâche.

### *Hauteur du plan de travail*

Le premier critère est la hauteur des sièges et des plans de travail. Celui-ci est d'une importance primordiale pour la santé : un plan de travail trop haut amène le travailleur à soulever les épaules et un plan de travail trop bas entraîne une flexion prolongée du dos. Les hauteurs du plan de travail et des sièges doivent donc prendre en compte les dimensions corporelles ainsi que les objets à manipuler. De plus, la hauteur des tables dépend de la position de travail (debout, assise ou mixte si possible).

#### **Position debout**

Le point de repère utilisé pour déterminer la hauteur confortable en position debout est la hauteur naturelle des coudes, en d'autres termes « la distance coude-sol ». La Figure 5.21 reprend les différentes hauteurs favorables du plan de travail en fonction de la nature du travail à effectuer en position debout.

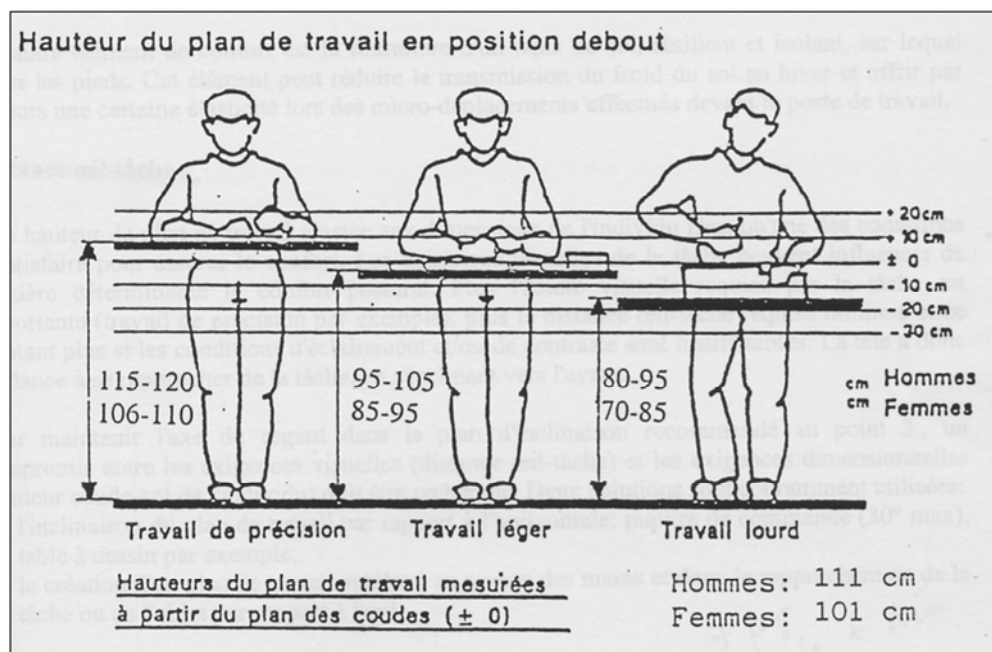


Figure 5.21 : Hauteur du plan de travail en position debout.  
Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-8]

Pour les tables interactives et coopératives, on se situe plutôt dans un travail léger, ce qui donne une hauteur de table recommandée de 85-95cm pour les femmes et 95-105cm pour les hommes.

## Position assise

Comme pour le travail en position debout, le point de référence est la hauteur naturelle des coudes. Toutefois, dans ce cas, il faut considérer séparément la distance coude-siège (coude-plan d'assise) et la distance plan d'assise sol (hauteur d'assise). La seconde dimension est confortable lorsque la personne assise peut avoir les cuisses à l'horizontale et les jambes verticales, les pieds reposant bien à plat sur le sol.

La conception du poste de travail assis requiert donc de déterminer deux hauteurs : celle du siège et celle du plan de travail. Pour maximiser le confort, une des deux hauteurs doit être réglable. Le choix de tables d'une hauteur suffisante est plus judicieux, car les personnes de petite taille peuvent travailler à une hauteur correcte en modifiant la hauteur de leur siège et en usant d'un repose-pied.

La hauteur du plan de travail doit être déterminée selon le type de tâche effectuée. Pour les activités en position assise nécessitant une grande acuité visuelle, par exemple le travail de précision ou de contrôle, la distance de vision sera réduite par l'élévation du niveau du plan de travail.

## La durée du maintien

Un second critère dont il faut tenir compte pour rendre un poste de travail ergonomique est celui de la durée du maintien de la posture. Cette durée doit être la plus brève possible afin que celle-ci ne devienne pas inconfortable voire nocive pour l'utilisateur. L'idéal étant d'avoir un plan de travail proposant plusieurs postures.

Un poste de travail qui permet de passer librement de la position assise à la position debout est appréciable. Le changement de posture permet de reposer alternativement les muscles mis à contribution dans les deux postures. Une des positions permettant cette alternance est la position assis-debout (Figure 5.22).

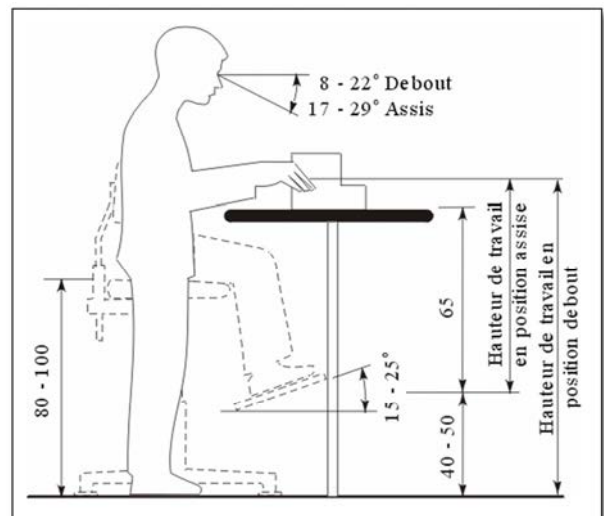


Figure 5.22 : Poste de travail permettant de travailler alternativement debout ou assis.

Source : [Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, 2006, p. 12]

## L'espace pour les membres inférieurs

L'espace disponible pour les membres inférieurs est un troisième critère dont il faut tenir compte. En effet, une position agréable du corps est notamment liée à la liberté de mouvement des jambes.

### Position debout

En position debout, l'existence d'un espace permettant de placer l'avant du pied à la base du plan de travail permet au travailleur de rapprocher un maximum le tronc de la tâche et évite le maintien d'une légère inclinaison du tronc vers l'avant. Cet espace pour les pieds doit avoir une profondeur de 10 cm et une hauteur de 10 cm.

### Position assise

Pour la position assise, la dimension de l'espace libre pour les jambes au-dessous de la surface de travail est particulièrement importante pour les postes de travail assis. La Figure 5.23 reprend les dimensions recommandées pour cet espace libre. Pour les personnes particulièrement grandes ou particulièrement petites, il est préférable de mettre en place une solution individuelle.

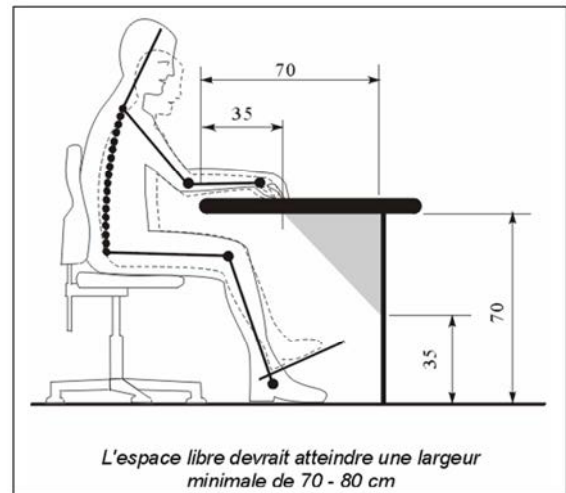


Figure 5.23 : Espace libre pour les jambes sous la table de travail; suffisante pour 95 % des hommes (mesures en cm).  
Source : [Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, 2006, p. 5]

### Les caractéristiques visuelles que nécessite la tâche

Le dernier critère à respecter est celui de l'emplacement de la source d'information visuelle. Il existe certaines recommandations concernant le placement de cette source d'information afin d'avoir un meilleur confort postural de la nuque et du dos. En effet, les mouvements des yeux déterminent la position de la tête qui elle-même influencent la posture du tronc.

Comme le montre la Figure 5.24, les recommandations proposent d'avoir un axe du regard de maximum 55 degrés vers le bas ainsi qu'une inclinaison maximum de 55 degrés du plan de présentation. Pour la majorité des tables, le plan de présentation est mis à l'horizontal (90 degrés) ce qui fait qu'elles ne respectent pas les recommandations visuelles.

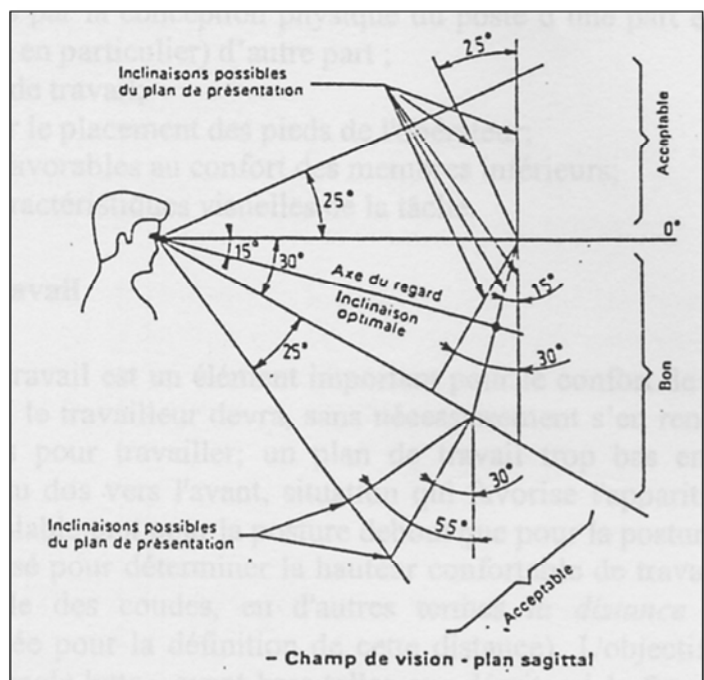


Figure 5.24 : Champ de vision dans le plan sagittal (vertical).  
Source : [Mairiaux, 2008, pp. VI-6]

# Partie 2 : Implémentation

---

La seconde partie de ce mémoire est consacrée à l'implémentation d'une table interactive et coopérative. Elle constitue la mise en pratique de certaines technologies, pratiques, conseils ergonomiques,... abordés dans la première partie.

Cette implémentation se divise en trois chapitres. La réalisation matérielle de la table interactive et coopérative est d'abord expliquée en détail. Le second chapitre montre l'adaptation d'un jeu de société multi-joueurs pour cette table. Un test de la table et du jeu réalisé auprès de 16 participants clôture le troisième chapitre qui présente également l'analyse des résultats de ce test.

## 6 Réalisation d'une table interactive et coopérative

La table a été réalisée en se basant sur [Gorman, Quinn, Farnsworth, Walker, & Taylor, 2010], [Han, 2005], [NUI Group Authors, 2009], [NUI Group Community, 2011], [NUI Group Community, 2011] et [Schöning, et al., 2010].

La réalisation matérielle de la table s'est faite en trois phases. La première consiste à fabriquer le périphérique d'entrée. La seconde phase est la mise en place du périphérique de sortie. Enfin, la dernière phase décrit les composants logiciels nécessaires à la communication entre le périphérique d'entrée, le périphérique de sortie et l'ordinateur.

### 6.1 Périphérique d'entrée

La technologie FTIR (Frustrated Total Internal Reflection) a été choisie pour la fabrication du périphérique d'entrée. Cette technologie a l'avantage de ne pas nécessiter une fabrication industrielle, d'être plus simple et moins coûteuse à réaliser que d'autres. De plus, de nombreuses recherches scientifiques se sont basées sur elle et permettent ainsi d'accéder plus facilement à la littérature scientifique.

### 6.1.1 Technologie FTIR

Avant de commencer l'explication de la réalisation du périphérique d'entrée, voici un bref rappel général du principe de la technologie FTIR déjà expliqué en détail au point 2.2.3.

Comme l'indique la Figure 6.1, des LED infrarouges sont placées sur les quatre bords d'une plaque d'acrylique (Plexiglass). La lumière infrarouge pénètre alors dans l'acrylique sans en sortir car elle subit une réflexion totale. Lorsqu'un utilisateur touche la plaque avec son doigt, la réflexion totale est alors frustrée et un point lumineux apparaît à l'endroit de l'interaction. Un logiciel de traitement d'images couplé à une caméra peut alors détecter ce point et en déterminer les coordonnées X-Y.

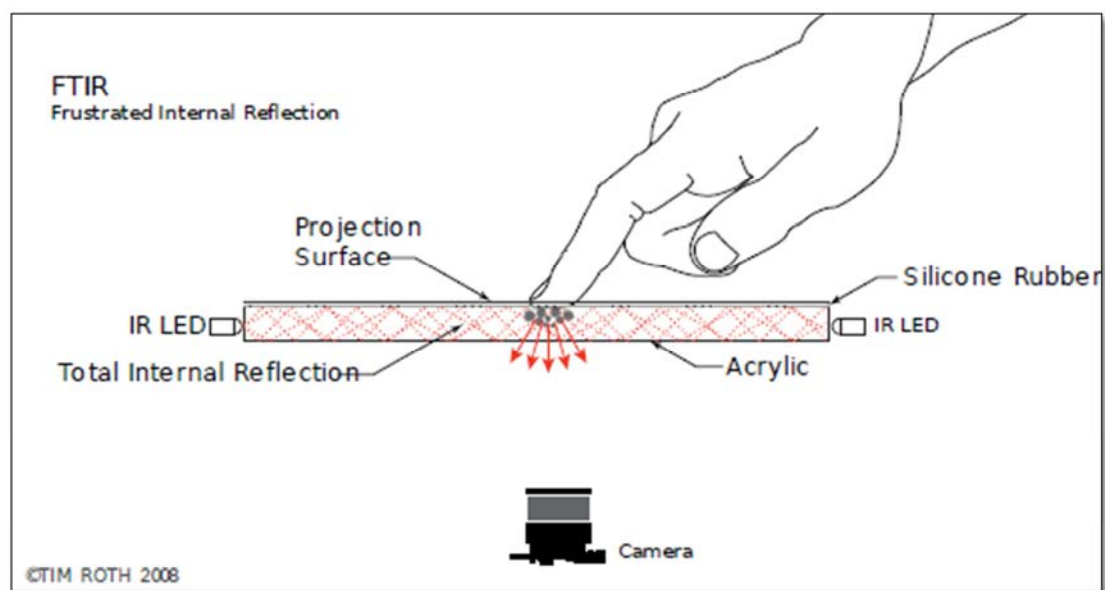


Figure 6.1 : Schéma de la technologie FTIR.  
Source : [Schöning, et al., 2008, p. 5]

### 6.1.2 Plaque d'acrylique

Une plaque de Plexiglass transparent de 73 cm de long sur 55 cm de large et 10 mm d'épaisseur a été choisie.

Il est nécessaire d'avoir une certaine épaisseur pour deux raisons. Premièrement, il faut que la plaque puisse résister à son propre poids ainsi qu'à la pression exercée par les différents utilisateurs lors des interactions avec celle-ci (le point critique étant le centre de la plaque). Plus la plaque est grande plus une épaisseur élevée est nécessaire.

Deuxièmement, il est nécessaire d'avoir une épaisseur minimale afin qu'un maximum de lumière infrarouge émise par les LED pénètre dans la plaque de Plexiglass (minimum 6mm).

La plaque, qui a été commandée à une société spécialisée, a été découpée par celle-ci pour correspondre à la taille voulue. Afin que la lumière infrarouge puisse entrer de manière optimale, il a été nécessaire de polir les côtés. Une feuille de papier de verre n'ayant pas donné un polissage parfait, nous avons utilisé une petite ponceuse électrique avec un produit de polissage pour carrosserie de voiture (Figure 6.2).



Figure 6.2 : Polissage avec une ponceuse électrique des côtés de la plaque de Plexiglass.

Il a été nécessaire de faire attention lorsque nous manipulons la plaque car elle est fort sensible aux rayures.

### 6.1.3 LED infrarouges

Après avoir poli les côtés de l'acrylique, le placement des LED infrarouges sur les quatre bords de la plaque a été réalisé. Pour le placement, un profilé d'aluminium en forme de « U » a été utilisé. Il permet de fixer les LED et de faire la jonction

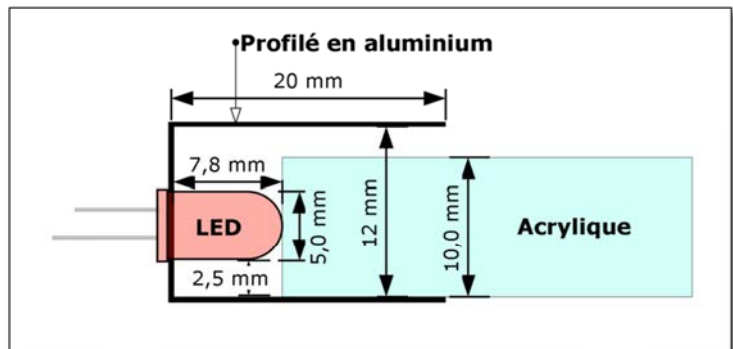


Figure 6.3 : Schéma du montage des LED dans le profilé aluminium en forme de «U».

avec la plaque d'acrylique. La Figure 6.3 reprend le schéma du montage réalisé. Des trous de 5mm de diamètre ont été percés dans le « dessous » du profilé pour y placer les LED par l'arrière. La plaque d'acrylique, quant à elle, vient se glisser dans le profilé et se place contre les LED. L'utilisation d'un profilé en aluminium permet de canaliser l'éventuelle lumière infrarouge qui s'échapperait des côtés de la LED et comme l'aluminium est réfléchissant, il peut renvoyer une partie de cette lumière dans l'acrylique.

Au total, nous avons placé 126 LED sur les quatre côtés de la plaque d'acrylique en laissant une distance de 1,5 cm entre chaque LED (Figure 6.4).



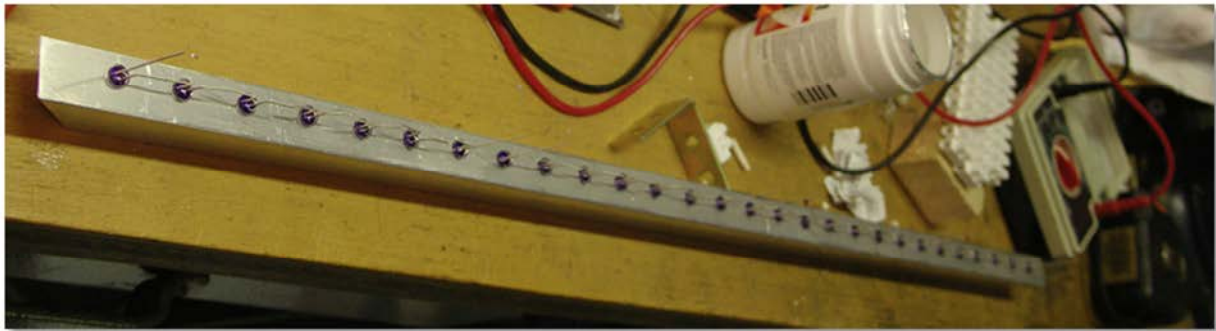


Figure 6.4 : Placement des LED tous les 1,5cm sur le profilé d'aluminium.

Les LED utilisées sont des LED infrarouges (longueur d'onde de 880nm) de la marque Siemens et de modèle SFH485-3 (voir annexe A pour la datasheet complète de ce modèle de LED). Celles-ci offrent un angle d'émission d'infrarouge de  $\pm 20$  degrés sachant que l'idéal étant un angle de  $\pm 48$  degrés pour bénéficier au maximum de la réflexion totale. Le fait que les LED n'ont pas un angle idéal n'a pas été un problème. Nous avons mis plus de LED que recommandé : une LED tous les 1,5 cm alors qu'une tous les 2,5cm est généralement suffisant.

Les LED sont connectées entre elles par des « barrettes de connexion<sup>1</sup> » (Figure 6.5) afin d'éviter de devoir faire des soudures entre chaque LED. Elles sont alimentées par le bloc d'alimentation d'un ordinateur (12 volts). Chaque LED a une chute de tension de 1,5V et requiert un courant de 100mA. Le schéma électrique mis en place pour alimenter ces 126 LED a été calculé sur le site web <http://led.linear1.org/led.wiz> et se trouve en annexe (voir annexe B).



Figure 6.5 : Les 126 LED infrarouges connectées autour de la plaque d'acrylique.

#### 6.1.4 Caméra infrarouge

##### *Caractéristiques*

Le dernier composant de la technologie FTIR est la caméra infrarouge qui est placée sous la plaque d'acrylique. Il est nécessaire d'avoir une caméra qui propose une bonne résolution (minimum 640x480 pixels). Elle doit pouvoir acquérir un nombre assez élevé d'images par seconde (minimum 30 images par seconde) afin de pouvoir suivre les interactions des utilisateurs de manière fluide et

<sup>1</sup> Composant permettant de joindre des câbles électriques à l'aide de vis.



sans trop de latence. Elle doit aussi disposer d'un champ de vision assez large pour voir toute la surface d'interaction. Si ce n'est pas le cas, il sera alors nécessaire de reculer fortement la caméra de la surface d'interaction. Ceci aura pour conséquence d'augmenter considérablement la hauteur de la table. Enfin, dernier point important, il faut que la caméra puisse voir la lumière infrarouge. Beaucoup de caméras incorporent par défaut, un filtre bloquant l'infrarouge.

### ***Choix de la caméra***

Après avoir parcouru les caractéristiques attendues de la caméra, voyons quelles sont les caméras qui peuvent convenir et laquelle a finalement été choisie.

Le premier choix possible est celui d'une caméra de type industriel. Plusieurs sociétés<sup>1</sup> proposent ce type de caméras qui respectent pleinement les caractéristiques voulues pour la technologie FTIR. Malheureusement, celles-ci coûtent souvent assez chers. Pour cette raison, cette solution n'a pas été retenue.

Un second choix possible est d'utiliser une webcam que l'on trouve facilement dans le commerce. Cependant, les webcams « traditionnelles » ont souvent une résolution assez faible ou ont une cadence d'acquisition d'image trop faible (moins de 30 images par seconde). Pour avoir une bonne webcam, il faut se diriger vers le haut de gamme. Le prix augmente assez vite même s'il reste plus faible qu'une caméra industrielle. Un autre désavantage est que ces webcams ont très souvent un filtre bloquant la lumière infrarouge. Ouvrir la webcam pour tenter de l'enlever ne donne pas la certitude de pouvoir l'extraire.

La solution qui a été adoptée est celle de la *Playstation 3 Eye* de Sony (PS3Eye). Il s'agit d'une caméra vendue comme accessoire pour la console de jeux *Playstation 3* de Sony. Cette caméra a été conçue à la base pour une utilisation sur *Playstation 3* mais, il est possible de la connecter et de la faire fonctionner sur ordinateur (voir plus de détails au point 6.3.2). Elle fournit une résolution de 640 sur 480 pixels à 60 images par seconde. Son avantage majeur est son prix très bas pour ce type de caméra (comparé à une caméra industrielle de mêmes caractéristiques). De plus, il est possible d'en trouver très facilement d'occasion sur Internet. Le seul inconvénient est qu'elle possède, comme les webcams, un filtre bloquant l'infrarouge.

---

<sup>1</sup> Par exemple la société Point Grey avec ses caméras FireFly®MV : <http://www.ptgrey.com/products/fireflymv/> ou la société Unibrain et ses caméras Fire-i™ : [http://www.unibrain.com/products/visionimg/Fire\\_i\\_BC.htm](http://www.unibrain.com/products/visionimg/Fire_i_BC.htm) (Consultés le 18/08/2011)

## Extraction du filtre bloquant l'infrarouge

Etant donné que la PS3Eye possède un filtre bloquant l'infrarouge, il est nécessaire de l'enlever. Une première solution consiste à retirer le filtre qui se trouve dans l'objectif de la caméra en grattant une partie du plastique constituant cet objectif. Ceci n'est pas facile à réaliser : on peut endommager l'objectif de la caméra ou rendre l'image légèrement floue.

Nous avons retiré complètement l'objectif et l'avons remplacé par un autre qui ne contient pas de filtre. Cette solution a nécessité des pièces supplémentaires. Un objectif avec un grand champ de vision et sans filtre bloquant l'infrarouge a donc été commandé sur Internet<sup>1</sup>. Malheureusement, celui-ci n'est pas livré avec sa fixation et il est impossible de reprendre celle d'origine de la PS3Eye (car collée avec l'objectif). La solution trouvée a été de prendre une simple webcam<sup>2</sup> afin d'y extraire la fixation de l'objectif (pièce entourée sur la Figure 6.6). Le nouvel objectif ainsi que la fixation ont ensuite pu être montés dans la PS3Eye à la place de l'objectif d'origine (Figure 6.7).

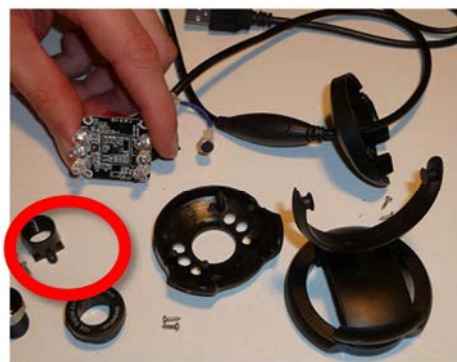


Figure 6.6 : Démontage d'une webcam pour récupérer la fixation de l'objectif (pièce entourée sur l'image).

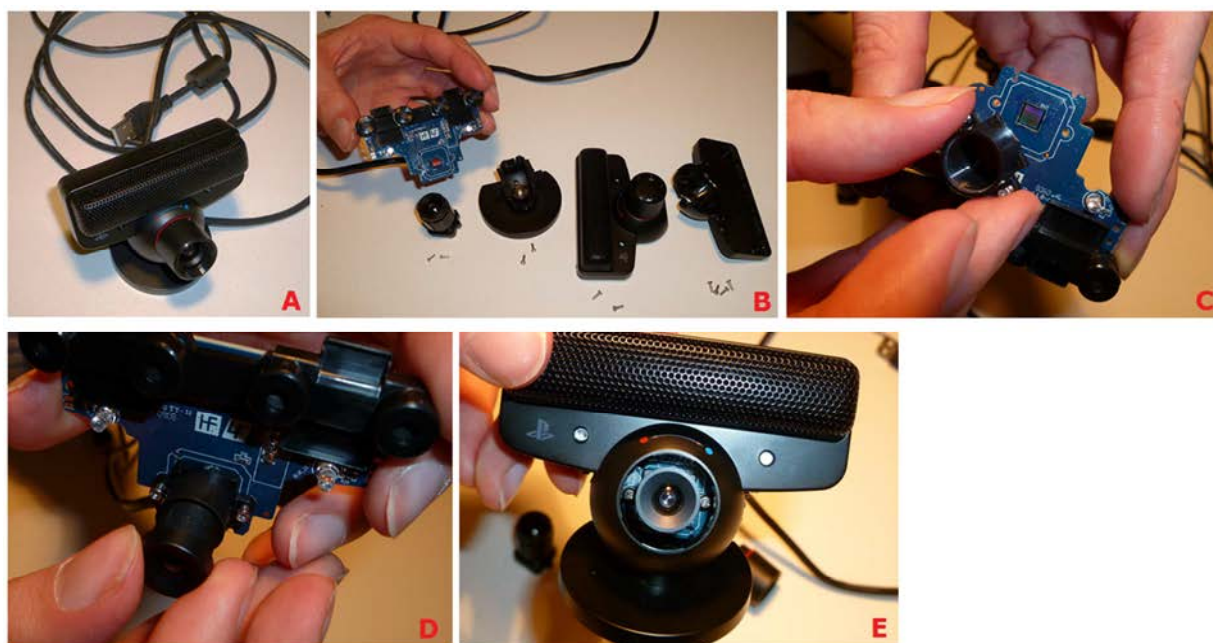


Figure 6.7 : Les étapes réalisées pour changer l'objectif de la PS3Eye: (A) PS3Eye originale ; (B) Démontage complet de la PS3Eye ; (C) Montage de la nouvelle fixation objectif ; (D) Vissage du nouvel objectif ; (E) PS3Eye remontée avec le nouvel objectif.

<sup>1</sup> "2.8mm~16mm Fixed IRIS Lens Set for Webcams and Security/CCTV Cameras (6-Lens Pack)" sur : <http://www.dealextreme.com/p/2-8mm-16mm-fixed-iris-lens-set-for-webcams-and-security-cctv-cameras-6-lens-pack-15774> (Consulté le 18/08/2011)

<sup>2</sup> "Mini Eye USB Webcam with 6-LED Illumination (1.3MPixel)" sur : <http://www.dealextreme.com/p/mini-eye-usb-webcam-with-6-led-illumination-1-3mpixel-5378> (Consulté le 18/08/2011)

## ***Ajout d'un filtre bloquant la lumière visible***

Au point précédent, nous avons expliqué comment modifier la PS3Eye afin qu'elle puisse voir la lumière infrarouge. La technique FTIR étant basée uniquement sur la lumière infrarouge, il est préférable d'ajouter un filtre à la caméra afin de bloquer la lumière visible. Ainsi, la caméra ne capturera que la lumière infrarouge (les interactions des utilisateurs). Comme le montre la Figure 6.8(B), ce filtre bloquant la lumière visible est nécessaire car, en l'absence de celui-ci, il est très difficile de distinguer les interactions ou objets tangibles de l'image du projecteur (projecteur utilisé comme périphérique de sortie et qui émet de la lumière visible).



Figure 6.8 : Image prise avec la PS3Eye de la surface d'interaction FTIR : (A) Avec filtre bloquant l'infrarouge (PS3Eye originale) ; (B) Sans filtre bloquant l'infrarouge ; (C) Sans filtre bloquant l'infrarouge mais avec un filtre bloquant la lumière visible.

Dans notre réalisation, un morceau de film argentique de photo a été utilisé comme filtre bloquant la lumière visible de façon à réduire les coûts au maximum. Pour que cela fonctionne, il faut prendre la partie « noircie » du film argentique qui se trouve en fin de rouleau (Figure 6.9). Le petit bout de film est alors placé entre l'objectif et le capteur de la caméra (nécessité d'ouvrir la PS3Eye comme au point précédent).



Figure 6.9 : Film argentique de photo utilisé comme filtre de lumière visible (partie « noircie »).

## **6.2 Périphérique de sortie**

Concernant la technologie du périphérique de sortie, nous avons opté pour la projection arrière par projecteur. Le projecteur utilisé est le modèle X1261 de la marque Acer. Il fournit un affichage natif de 1024 sur 768 pixels et se connecte à la prise VGA de l'ordinateur.

### **6.2.1 Disposition du projecteur**

Le projecteur est placé à l'arrière de la surface d'interaction. Il s'agit de pouvoir projeter une image sur la surface maximum de la plaque d'acrylique (qui pour rappel fait 73cm sur 55 cm). Pour

que ce soit le cas, avec ce modèle de projecteur, il est nécessaire de le placer à une distance de plus d'un mètre vingt de la surface d'interaction ce qui ferait une hauteur de table beaucoup trop grande pour correspondre à une ergonomie physique correcte (comme expliqué à la section 5.7).

Il existe bien sûr des projecteurs qui ont une distance de projection plus courte permettant d'être placés plus près de la plaque d'acrylique, mais leur coût est assez élevé.

La solution adoptée pour diminuer la distance de projection est l'utilisation de miroirs. Nous avons utilisé le logiciel *SimProj*<sup>1</sup> pour réaliser une simulation du placement du projecteur sous la surface d'interaction. Pour cette simulation, nous avons utilisé deux miroirs de manière à avoir une hauteur de table d'environ 90 cm avec une surface d'interaction d'environ 65 sur 50 cm (Figure 6.10).

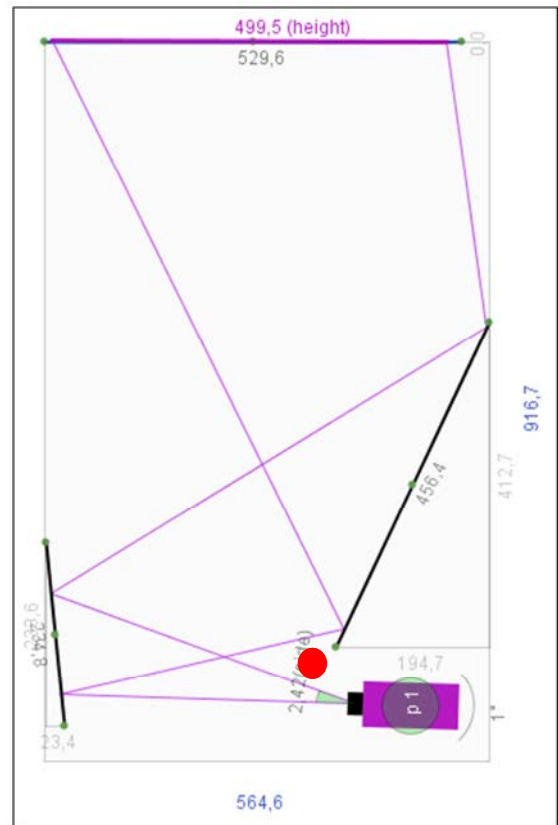


Figure 6.10 : Simulation avec le logiciel *SimProj* de la position du projecteur sous la surface d'interaction avec deux miroirs (vue de côté).

Le point rouge sur la Figure 6.10 spécifie l'endroit où la caméra, utilisée pour le périphérique d'entrée, a été placée afin de ne pas gêner la projection.

## 6.2.2 Structure de la table

Ensuite, il a été nécessaire de créer une structure permettant d'accueillir la surface d'interaction ainsi que le projecteur et ses miroirs. Pour cela, nous avons créé un modèle 3D<sup>2</sup> de cette structure (Figure 6.11). Ce modèle nous a servi comme plan pour la fabrication de la table.

La structure en elle-même utilise des barres métalliques (issues de deux étagères métalliques), ce

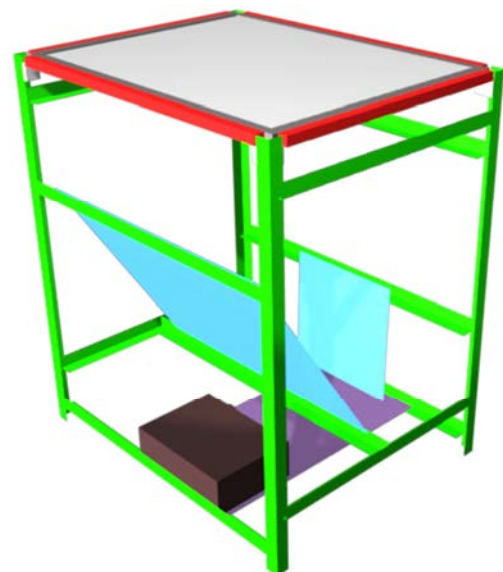


Figure 6.11 : Modélisation 3D de la structure de la table.

<sup>1</sup> *SimProj* disponible à l'adresse suivante: <http://benjamin.kuperberg.fr/simproj/> (Consulté le 18/08/2011)

<sup>2</sup> Modèle 3D réalisé à l'aide du logiciel open-source Blender : <http://blender.org/> (Consulté le 18/08/2011)



qui la rend assez robuste pour soutenir à la fois la plaque d'acrylique et les interactions des différents utilisateurs. Le résultat obtenu pour cette structure se trouve à la Figure 6.12.

### 6.2.3 Surface de projection

Comme on peut le constater sur la Figure 6.12, la surface d'interaction est pour l'instant transparente. Il est donc nécessaire d'avoir une surface de projection disposée sur celle-ci. Comme dit précédemment au point 2.2.3, il existe des sociétés proposant des surfaces spéciales de projection. Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes contentés d'utiliser une grande feuille de papier calque qui permet de réaliser une projection par l'arrière et cela, à moindre coût.

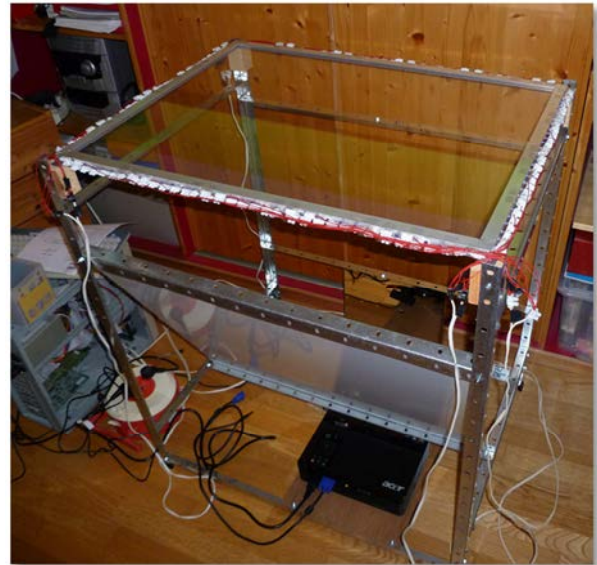


Figure 6.12 : Structure métallique accueillant le projecteur, deux miroirs ainsi que la plaque d'acrylique avec toutes les LED.

### 6.2.4 Surface de couplage

Un des inconvénients de la technique FTIR déjà évoqué précédemment (voir point 2.2.3) est la nécessité d'avoir une surface de couplage (compliant surface en anglais). Cette surface est en réalité placée entre la plaque d'acrylique et la surface de projection. Le but de cette surface est d'obtenir des points d'infrarouge encore plus lumineux lors des interactions des utilisateurs (car la surface de couplage a un meilleur indice de réfraction que le doigt). Ainsi, grâce à cette surface, les utilisateurs ne sont pas obligés d'appuyer fortement sur la surface d'interaction pour avoir des points assez lumineux (surtout lors de gestes réalisés sur la table).

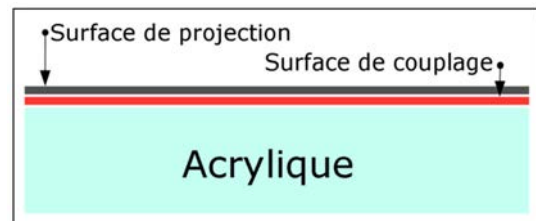


Figure 6.13 : Positionnement de la surface de couplage.

La surface de couplage est constituée d'une fine couche de silicone qui est mise sous la surface de projection (papier calque) (Figure 6.13). Pour réaliser cette opération, nous avons utilisé du silicone transparent. Celui-ci étant sous une forme assez consistante, il n'est pas possible de l'appliquer directement sur la surface de projection. Il a été dilué avec du solvant<sup>1</sup>. Ensuite, nous avons appliqué le



Figure 6.14 : Application du silicone sur la feuille de papier calque à l'aide d'un rouleau de peinture.

<sup>1</sup> Nous avons utilisé un solvant synthétique composé de Xylène.

silicone dilué sur la surface de projection à l'aide d'un rouleau de peinture (Figure 6.14).

### 6.2.5 Parois

Pour terminer la construction de cette table, nous avons décidé d'ajouter des parois (Figure 6.16) et cela, pour deux raisons : protéger les composants qui se trouvent à l'intérieur de la table (LED, projecteur, etc.) et préserver un minimum la caméra de la lumière ambiante qui peut contenir de la lumière infrarouge.

L'ajout de parois a pour conséquence de créer un milieu fermé à l'intérieur de la table. Cela peut poser problème lors de l'utilisation du projecteur. En effet, celui-ci dégage beaucoup de chaleur (due à sa lampe) et dispose notamment de son propre ventilateur pour extraire l'air chaud. Or, les parois empêchent l'évacuation de l'air chaud qui s'accumule à l'intérieur. La température risque alors d'augmenter et de détériorer le projecteur. Une petite grille d'aération sur une des parois a dès lors été placée. Ensuite, une buse avec un ventilateur a été installée entre le projecteur et cette grille afin d'extraire plus rapidement l'air chaud (Figure 6.15).



Figure 6.16 : Extérieur de la table finalisée.



Figure 6.15 : Intérieur de la table finalisée.

## 6.2.6 Améliorations possibles

La table interactive et coopérative qui a été créée dans le cadre de ce mémoire n'est bien sûr pas un produit qui présente une qualité de finition ou d'ergonomie physique irréprochable. Ce n'était pas le but recherché ici, elle s'apparente même plus à un « prototype ».

Sa construction a été pensée dans l'optique de pouvoir la transporter. Ainsi, la table est totalement démontable et transportable.

Des améliorations sont évidemment possibles. Premièrement, l'utilisation d'une feuille de papier calque comme surface de projection n'est pas optimale. Elle a tendance à gondoler à certains endroits et peut provoquer une gêne chez les utilisateurs lors de leurs interactions.

Deuxièmement, nous avons utilisé des miroirs traditionnels pour diminuer la distance de projection. Ceux-ci causent à certains endroits de l'image projetée, un effet « fantôme ». On a l'impression de voir trois images avec un léger décalage (Figure 6.17). Ce phénomène est dû à l'utilisation de miroirs traditionnels qui en réalité, reflètent



Figure 6.17 : Effet "fantôme" sur l'image projetée.

deux fois l'image (une première fois assez légèrement par la surface extérieure de la vitre protectrice du miroir et une seconde fois par la couche réellement réfléchissante du miroir). Pour éviter cette double réflexion, il est nécessaire d'utiliser des miroirs de première surface dont le prix est assez élevé (surtout pour de grandes surfaces).

Enfin, le projecteur émet de la lumière infrarouge lors de son utilisation. Cette lumière infrarouge est également reflétée par les miroirs et un point lumineux apparaît dès lors sur la surface de projection (un seul point de moins d'un centimètre de diamètre). Celui-ci n'est évidemment pas visible par l'œil humain mais il est bien visible par la caméra infrarouge. Celle-ci peut alors avoir quelques difficultés pour distinguer les interactions des utilisateurs qui se font à l'endroit du point lumineux. Il existe bien sûr une solution à ce problème qui consiste à mettre un filtre bloquant l'infrarouge juste à la sortie du projecteur pour empêcher ce dernier d'émettre le point lumineux.

## 6.3 Composants logiciels

Cette section examine les différents composants logiciels qui ont été mis en place pour faire fonctionner notre table interactive et coopérative. Nous avons décidé de la faire tourner sur le système d'exploitation Windows 7 (32 bits) qui, pour rappel, est « multi-touch ».

L'ordinateur utilisé est composé d'un processeur *Intel Core 2 duo E5800 3.2 GHz* avec 4Gb de mémoire RAM ainsi que d'une carte graphique dédiée (*Nvidia Geforce 450 GTS*).

### 6.3.1 Périphérique de sortie

Pour le périphérique de sortie, nous avons utilisé la gestion d'écran externe incluse dans Windows 7. Le projecteur est simplement connecté à la sortie VGA de l'ordinateur. Nous avons utilisé la résolution d'affichage native du projecteur à savoir 1024 sur 768 pixels.

A noter que nous avons joint un second périphérique de sortie à notre table. Nous avons en effet ajouté un baffle à l'intérieur de la table pour permettre à celle-ci de pouvoir produire des sons (le son étant utilisé par le jeu de société que nous avons développé).

### 6.3.2 Périphérique d'entrée

La situation était un peu plus complexe en ce qui concerne le périphérique d'entrée.

Le périphérique d'entrée de la table, qui est connecté à l'ordinateur, est la caméra PS3Eye. Celle-ci est connectée en USB et il est nécessaire d'installer un driver pour que le système d'exploitation puisse reconnaître et communiquer avec la PS3Eye. Celle-ci n'étant pas prévue pour être connectée à un ordinateur, la société Sony ne fournit pas de driver officiel. Cependant, la société *Code Laboratories* [2011] propose un driver nommé « *CL Eye Platform Driver* » permettant de gérer la PS3Eye<sup>1</sup>.

Ensuite, comme logiciel de traitement d'images, nous avons utilisé logiciel Community Core Vision (CCV)<sup>2</sup> réalisé par des membres de la communauté *NUI Group Community* [2011]. Ce logiciel qui a déjà été abordé au point 3.1.1 est pour rappel, une solution open source de traitement d'images permettant le suivi des interactions au doigt pour notamment la technologie FTIR.

---

<sup>1</sup> Disponible à l'adresse: <http://codelaboratories.com/products/eye/driver/> (Consulté le 23/08/2011).

<sup>2</sup> Version 1.4 utilisée et disponible sur : <http://nuicode.com/projects/ccv> (Consulté le 23/08/2011).



CCV n'est pas compatible directement avec le système « multi-touch » du système d'exploitation Windows 7. Celui-ci utilise plutôt le protocole TUIO (abordé au point 3.1.1) pour envoyer les coordonnées des points d'interactions qu'il a détectées lors du traitement d'images. Il a donc été nécessaire d'utiliser un petit programme permettant de réaliser une « redirection » du protocole TUIO vers le « multi-touch » de Windows 7. C'est le programme Multi-Touch Vista<sup>1</sup> qui a été utilisé pour réaliser cette opération.

Une fois ces programmes installés et fonctionnels, il est possible de contrôler le système d'exploitation avec la table interactive<sup>2</sup>.

### 6.3.3 Ajout de la reconnaissance d'objets tangibles

Comme déjà expliqué au point 2.2.3, la technologie FTIR n'a pas été développée pour reconnaître des objets tangibles. Nous avons donc cherché et trouvé une solution permettant de pallier cet inconvénient.

La solution trouvée consiste à utiliser une seconde caméra, toujours placée sous la surface d'interaction. Par contre, celle-ci ne se « concentre » que sur les objets tangibles. Pour cela, elle a un champ de vision plus restreint (donc une meilleure résolution, plus de pixels per inch) et ses réglages sont adaptés (luminosité, contraste, gain,...) différemment que pour la technologie FTIR (pour mieux voir les objets tangibles).

Le logiciel CCV ne permettant pas de gérer deux caméras différentes avec des réglages différents et des champs de vision différents, nous avons décidé d'utiliser le logiciel reactIVision<sup>3</sup>. Celui-ci permet de reconnaître et suivre les tags collés sur les objets tangibles.

Au final, nous avons donc les deux logiciels, CCV et reactIVision, qui s'exécutent en parallèle, chacun disposant de sa propre PS3Eye. Le premier s'occupe des interactions au doigt tandis que le second reconnaît les objets tangibles. Les deux fonctionnent avec le protocole TUIO, il est donc nécessaire d'utiliser deux ports différents pour les connexions réseaux.

Un problème a néanmoins été rencontré lors de la mise en place de ce système. En effet, le driver « *CL Eye Platform Driver* » fournit par la société Code Laboratories [2011], ne permet pas de gérer

---

<sup>1</sup> Multi-Touch Vista est disponible à l'adresse <http://multitouchvista.codeplex.com/> (Consulté le 23/08/2011).

Pour son fonctionnement, il est nécessaire d'installer le driver ainsi que lancer plusieurs services.

<sup>2</sup> Il est nécessaire de réaliser une calibration du logiciel CCV lors de la première utilisation de celui-ci.

<sup>3</sup> C'est la version 1.4 qui a été utilisée et est disponible à l'adresse suivante : <http://reactivision.sourceforge.net/> (Consulté le 23/08/2011).

simultanément deux caméras PS3Eye. Pour pouvoir gérer les deux caméras, il est nécessaire d'utiliser l'API « *CL Eye Platform SDK* » de cette même société. Cependant, les deux programmes (CCV et reacTIVision) ne supportent pas nativement cet API. Nous avons donc dû modifier le code source de ces deux programmes afin qu'il puisse utiliser cet API.

Enfin, il faut savoir que le système d'exploitation Windows 7 ne gère pas nativement les objets tangibles. Le logiciel reacTIVision ne passe donc pas par le système d'exploitation mais communique directement avec les applications sous-jacentes qui, dans notre cas, est l'adaptation du jeu de société que nous avons développée (plus de détails au point 7.3.5).

#### 6.3.4 Schéma récapitulatif

Voici un schéma récapitulatif des différents composants logiciels utilisés par notre table pour la gestion des interactions aux doigts ainsi que la reconnaissance des objets tangibles :

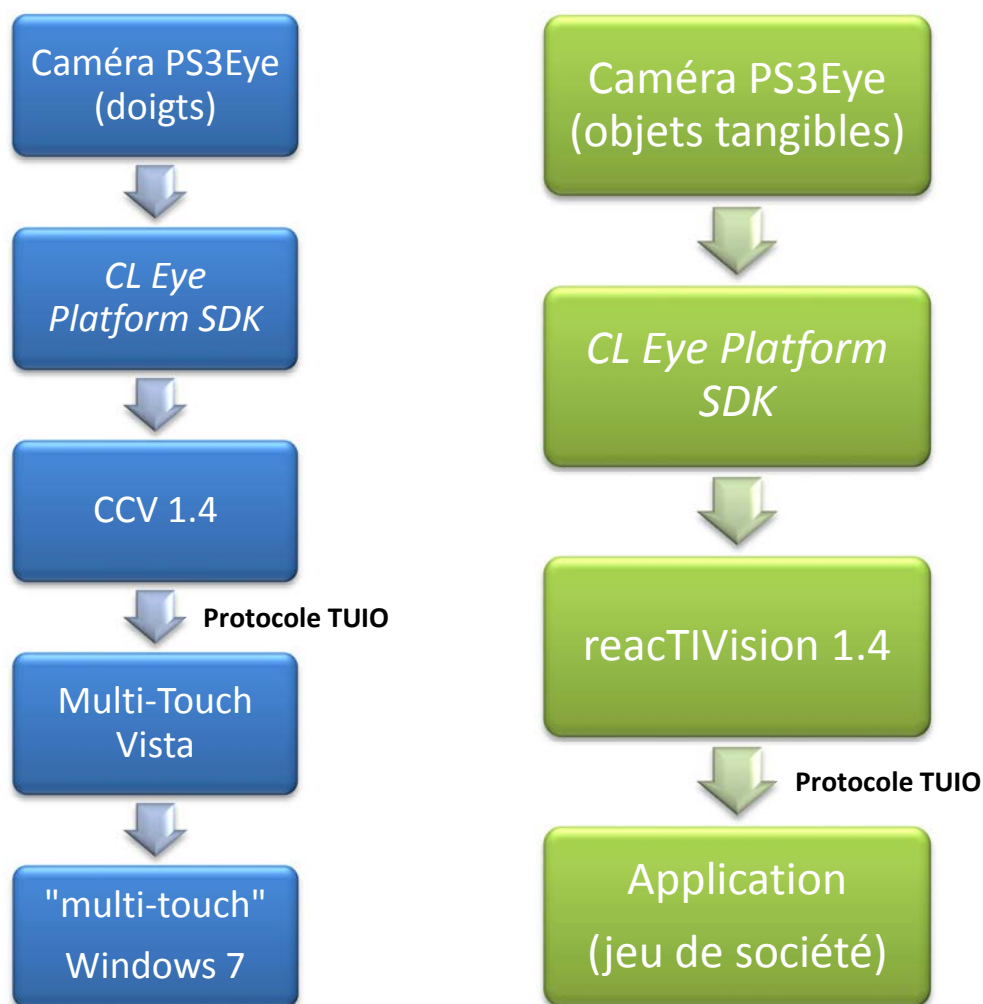


Figure 6.18 : Schéma récapitulatif des composants logiciels utilisés par la table : en bleu les composants nécessaires pour la gestion des interactions aux doigts et en vert, ceux nécessaire à la reconnaissance des objets tangibles.

## 7 Adaptation d'un jeu de société pour la table

Afin de pouvoir tester l'interaction avec notre table, nous avons décidé de réaliser une adaptation d'un jeu de société multi-joueurs pour celle-ci.

Selon Chaboissier et Vernier [2009], les tables interactives conviennent très bien à l'adaptation de jeux de société car elles regroupent plusieurs personnes dans la convivialité et peuvent créer de fortes interactions sociales. De plus, les possibilités techniques d'un ordinateur sont grandes. Il est ainsi possible d'avoir des jeux d'une grande qualité graphique avec beaucoup de réalisme tout en essayant de réutiliser des interactions déjà présentes dans l'univers du jeu traditionnel (pour les jeux de carte par ex. : déplacement, pliage, tri, inerties, etc.).

### 7.1 Explication du jeu

Le jeu de société que nous avons décidé d'adapter est *Gambit 7*<sup>1</sup>. Il s'agit d'un jeu où il faut donner (ou plutôt estimer) des réponses (il s'agit toujours d'un nombre) à des questions plus farfelues les unes que les autres<sup>2</sup>. Ensuite, les joueurs doivent parier sur leur propre réponse ou sur celles de leurs adversaires et ainsi espérer gagner le plus de points possibles (les règles complètes du jeu se trouvent en annexe C). Après 6 questions, le joueur ayant récolté le plus de points est déclaré gagnant de la partie.

Avant de commencer le développement du jeu, nous avons réalisé un diagramme d'état UML de l'adaptation du jeu pour la table. Ce diagramme se trouve à la Figure 7.1.

---

<sup>1</sup> Site officiel du jeu Gambit7 : <http://www.daysofwonder.com/gambit7/fr/> (Consulté le 27/08/2011)

<sup>2</sup> Un exemple de question tirée du jeu : « Selon la Bible, à quel âge est mort Moïse ? »

réponse : 120

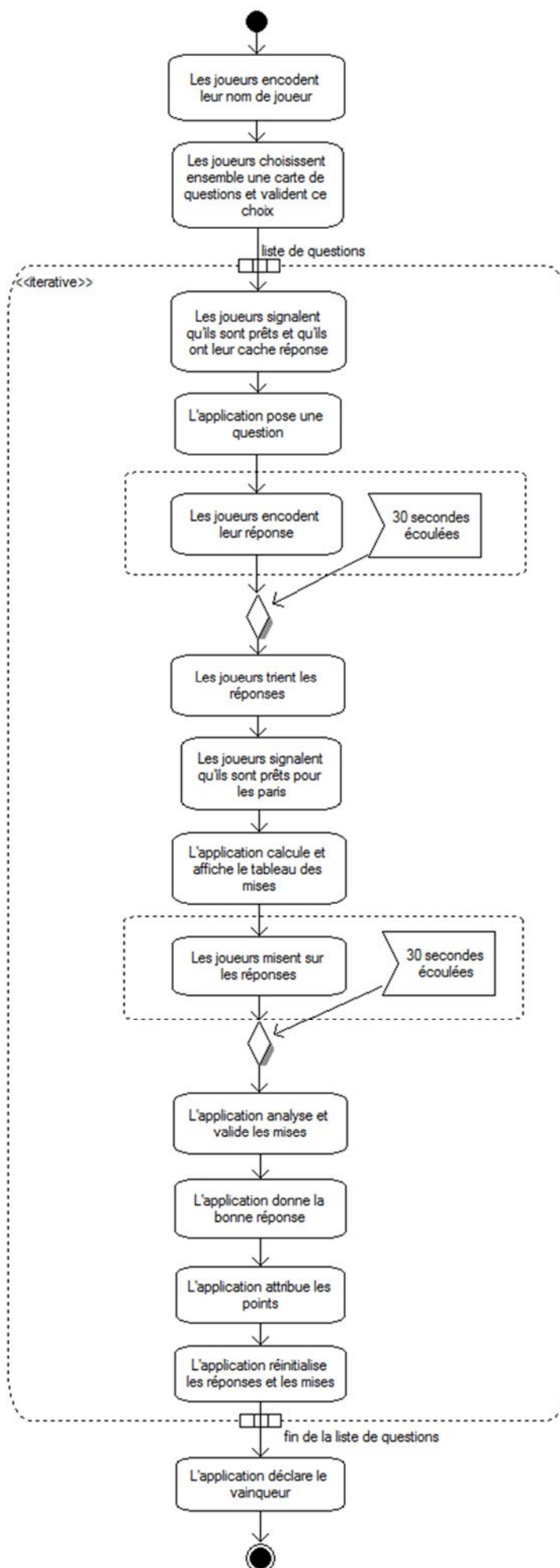


Figure 7.1 : Diagramme d'état UML de l'adaptation du jeu Gambit 7 pour la table interactive et coopérative.

## 7.2 Développement

Pour réaliser l'adaptation du jeu, nous avons suivi quelques recommandations proposées dans le guide de style fourni par Microsoft Corporation [2009] pour sa table *Microsoft Surface*. La table *Microsoft Surface* est assez semblable à la nôtre, tant au niveau de sa surface d'interaction (environ 32 pouces de diagonale pour la nôtre et 30 pouces pour la *Microsoft Surface*) qu'au niveau de sa résolution (environ 40 ppi pour notre table et 43 ppi pour la *Microsoft Surface*).

Pour le développement, nous avons utilisé le Framework *Microsoft Surface*<sup>1</sup> qui est adapté au développement pour table interactive et coopérative sous le système d'exploitation Windows 7. Ce Framework est basé sur le langage C# .Net (section 3.2).

Nous avons également utilisé une synthèse vocale dans le jeu afin d'ajouter une modalité d'interaction supplémentaire. Cela permet de dynamiser le jeu et de jouer le rôle d'animateur de la partie. La synthèse vocale donne les instructions aux joueurs, énonce les questions, donne les scores, etc. Nous avons utilisé le système Text-To-Speech (TTS ou synthèse vocale en français) du système d'exploitation Windows 7 en y installant une voix en langue française.

Enfin, concernant le design graphique du jeu, nous avons essayé de garder les couleurs du jeu originales.

---

<sup>1</sup> Nous avons utilisé la version « Microsoft Surface Toolkit for Windows Touch Beta » du Framework, la seule compatible avec le système d'exploitation Windows 7 au moment du développement (la version 2.0 du *Microsoft Surface SDK* n'étant pas encore sortie).  
Ce Framework est disponible à l'adresse : <http://www.microsoft.com/surface/> (Consulté le 27/08/2011)

## 7.3 Interfaces des différentes phases du jeu

Dans cette section, les interfaces développées pour les différentes phases du jeu sont reprises : saisie des noms de joueur, choix d'une carte de questions, encodage des réponses, tri des réponses, paris sur les réponses.

### 7.3.1 Etape 1 - saisie des noms de joueur

La première étape que les joueurs doivent réaliser dans le jeu est la saisie de leur nom de joueur. Ainsi, l'application peut connaître les noms des joueurs et la synthèse vocale peut les utiliser lors de l'annonce des résultats par exemple. Cette étape permet aussi de montrer aux joueurs quelle couleur leur est attribuée pour la partie (rouge, vert, mauve ou orange).

La Figure 7.2 reprend l'interface développée pour cette première étape.

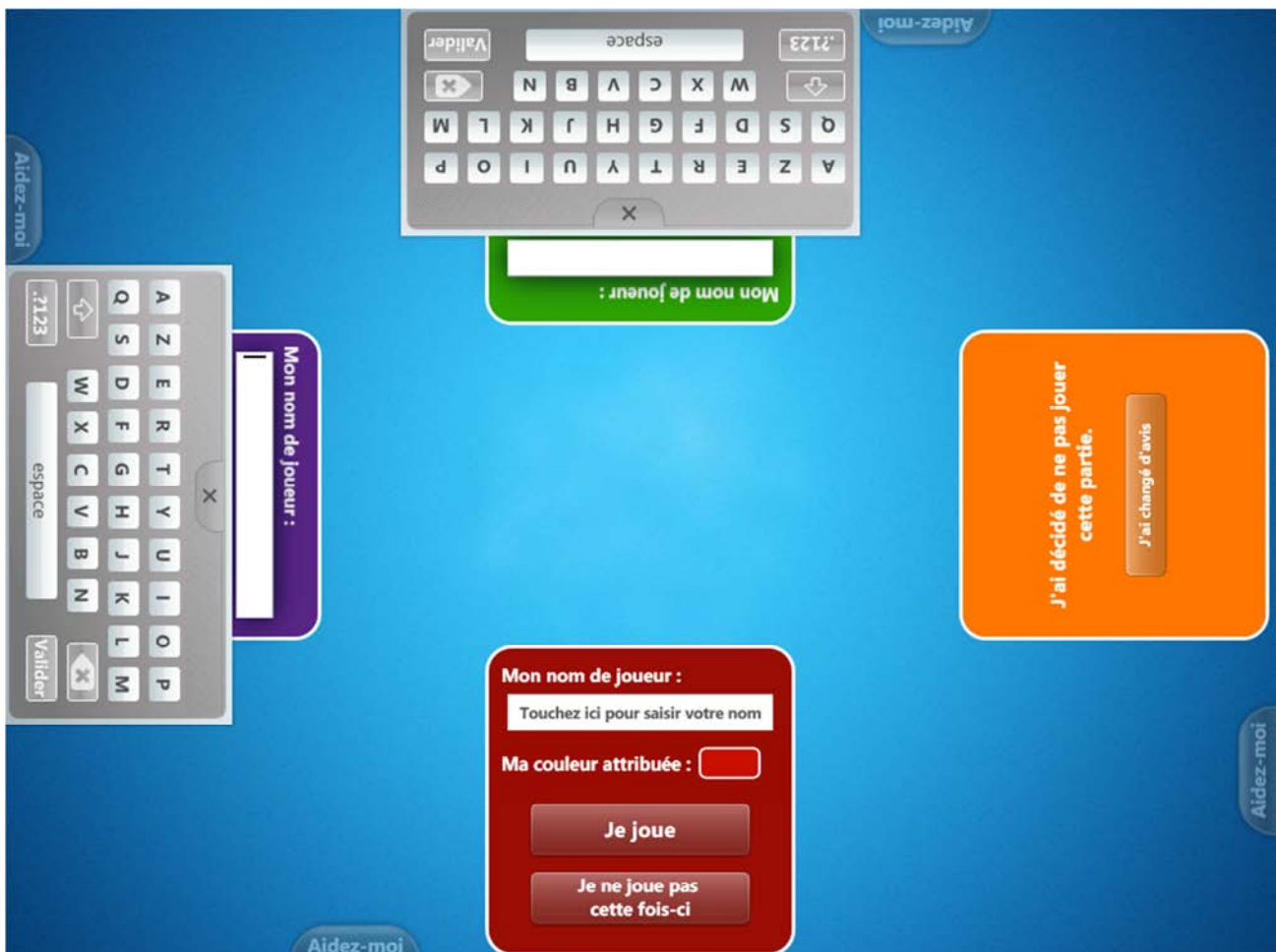


Figure 7.2 : Interface de l'étape 1 - encodage des noms de joueur.

La première chose que l'on peut remarquer sur cette interface, c'est l'utilisation, dans les instructions textuelles, d'un ton direct et personnel. Il s'agit en fait, d'une recommandation ergonomique du guide de style de la *Microsoft Surface*. Celui-ci préconise ce ton pour simuler une

conversation (naturelle) plutôt que de lister des commandes ou instructions. Il propose ainsi l'utilisation de la phrase « J'ai changé d'avis » plutôt que le mot traditionnel « Annuler » pour un bouton permettant de changer le choix réalisé précédemment par l'utilisateur.

Ce guide recommande aussi de laisser la possibilité à l'utilisateur de revenir sur les choix qu'il réalise. C'est ce que nous avons mis en place lorsque l'utilisateur décide de jouer ou de ne pas jouer à cette partie. Il peut toujours modifier son choix tant que tous les utilisateurs n'ont pas validé le leur.

Nous avons mis à la disposition de chaque utilisateur, un bouton d'aide (intitulé « Aidez-moi » pour respecter le ton direct et personnel). Lorsqu'un utilisateur appuie sur ce bouton, un message dans une bulle apparaît au-dessus de celui-ci et donne les instructions sur les opérations à réaliser pour cette phase du jeu (Figure 7.3). Si le texte est trop long pour être affiché en entier, une barre de défilement apparaît. Lorsque l'utilisateur touche avec son doigt celui-ci, il s'élargit afin d'être plus visible derrière le doigt. L'utilisateur peut aussi faire défiler le texte en « poussant » le texte vers le haut ou vers le bas (interaction plus naturelle). A noter que le bouton est présent pour chaque étape de jeu avec les instructions appropriées.



Figure 7.3 : Bouton d'aide du jeu Gambit7.

Pour l'encodage des noms de joueurs, nous avons dû développer un clavier virtuel tactile car le Framework de développement ne propose pas de clavier multi-utilisateurs (interaction simultanée de plusieurs utilisateurs). Pour ce clavier, nous nous sommes inspirés du design du clavier de l'iPhone (Figure 7.5) ainsi que celui utilisé par la table *Microsoft Surface* qui n'est pas multi-utilisateurs (Figure 7.4). Le résultat obtenu pour notre clavier se trouve à la Figure 7.6.



Figure 7.5 : Clavier de l'iPhone.  
Source : <http://www.apple.com>



Figure 7.4 : Clavier de la table Microsoft Surface.  
Source : [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee804809\(v=surface.10\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ee804809(v=surface.10).aspx)



Ce clavier permet d'encoder des lettres ainsi que des chiffres. Si l'utilisateur appuie sur le bouton « .?123 », les touches changent et les lettres deviennent des chiffres (l'opération est bien sûr réversible).



Figure 7.6 : Clavier virtuel tactile multi-utilisateurs pour l'encodage des noms de joueur.

Afin de respecter les recommandations ergonomiques évoquées à la section 5.5, sur la saisie de texte via clavier virtuel tactile, nous avons tout d'abord ajouté la possibilité d'agrandir le clavier. Pour cela, l'utilisateur doit saisir avec deux doigts la partie supérieure du clavier (partie grise sans touche) et écartier ses deux doigts. Pour diminuer la taille du clavier, il rapproche ses doigts. Ensuite, l'utilisateur peut également modifier l'orientation du clavier en utilisant également deux doigts sur la partie supérieure : l'un étant fixe et l'autre montant ou descendant pour régler l'inclinaison. Enfin, lorsque l'utilisateur n'a plus besoin de saisir du texte, il peut soit cliquer sur la croix, soit sur le bouton valider.

### 7.3.2 Etape 2 – choix d'une carte de questions

La seconde étape du jeu consiste à laisser les joueurs choisir une carte de six questions qui seront utilisées pour la partie. Comme on peut le voir à la Figure 7.7, nous avons une zone de groupe (cercle) avec une zone de stockage (Bibliothèque de questions) pour cette interface.

Un joueur doit choisir une carte dans la bibliothèque de questions avec son doigt et la faire glisser dans le cercle central (il peut faire défiler la liste des cartes en « poussant » avec son doigt celles-ci à gauche ou à droite).

Une fois l'opération effectuée, l'application demande à chaque joueur de valider le choix. Tant que tous n'ont pas validé, il est impossible de passer à l'étape suivante. Si un joueur change de carte entretemps, la validation devra être refaite.

On peut remarquer que sur cette interface, le titre « Bibliothèque de questions » est dupliqué uniquement deux fois. Nous avons voulu respecter la recommandation ergonomique citée au point 5.2.1 qui préconise de ne pas toujours dupliquer, dans tous les sens, les petites phrases sous peine d'alourdir l'interface.



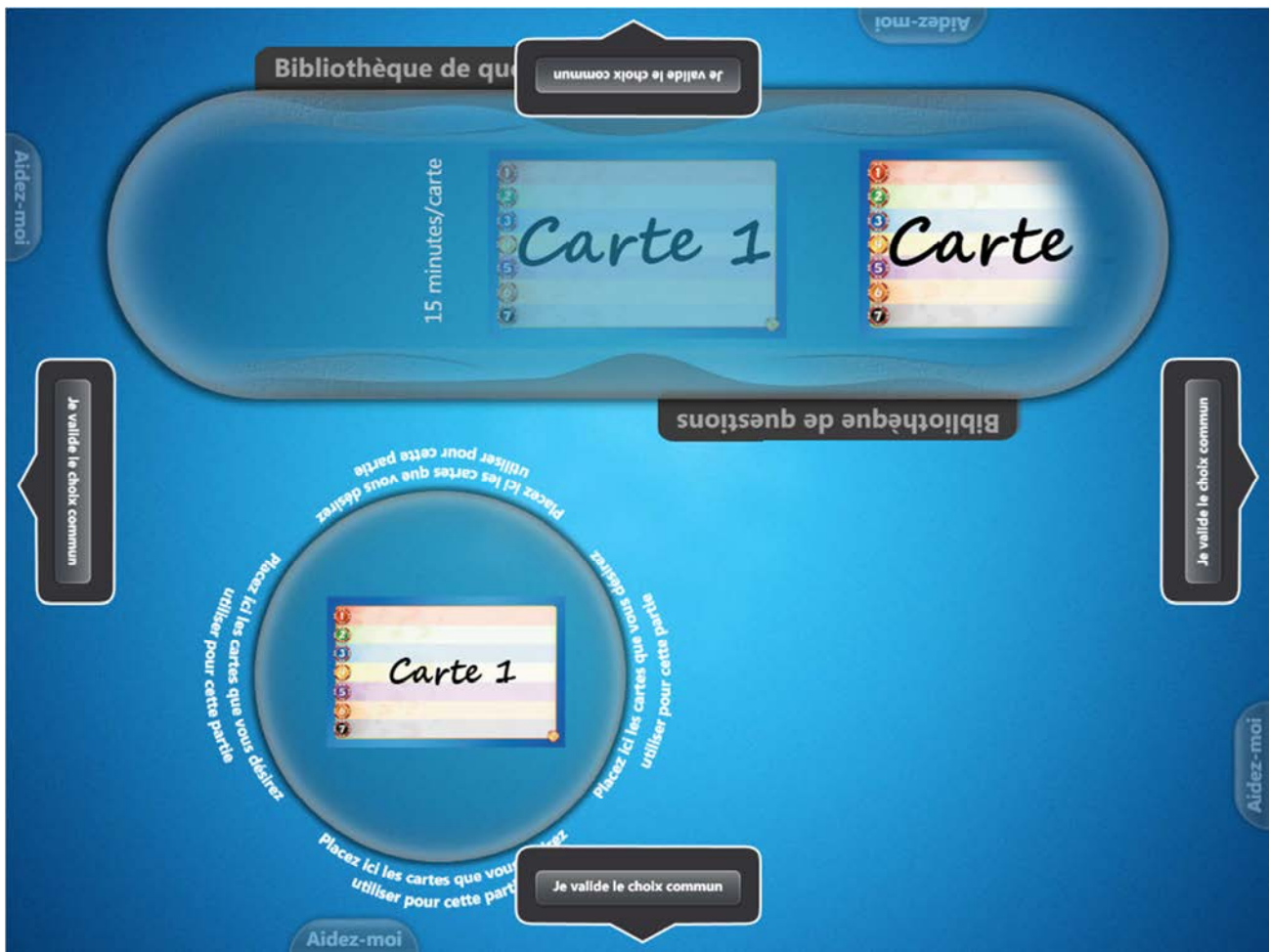


Figure 7.7 : Interface de l'étape 2 - choix d'une carte de questions.

### 7.3.3 Etape 3 – encodage des réponses

La troisième étape du jeu reprend l'encodage des réponses par les utilisateurs. Un problème est vite apparu car il a fallu trouver un système permettant de cacher les réponses aux autres participants. La solution qui a été retenue est l'usage d'un cache physique (feuille de papier) permettant de dissimuler les réponses des joueurs (Figure 7.8).

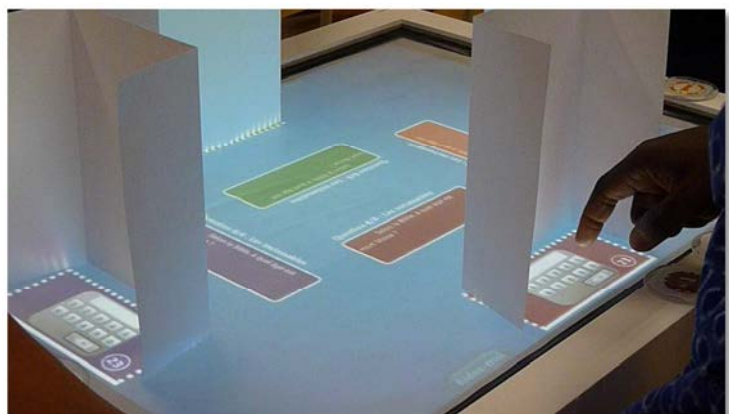


Figure 7.8 : Utilisation de caches réponses.

Suite à l'utilisation de ce cache, il est nécessaire de demander à chaque utilisateur s'il a bien placé celui-ci avant de poser la question et de démarrer l'encodage des réponses (Figure 7.9).



Figure 7.9 : Demande du placement de cache.

Une fois tous les utilisateurs prêts, la synthèse vocale lit la question et le compte à rebours de 30 secondes démarre. Chaque utilisateur a à sa disposition un petit encodeur numérique permettant de saisir sa réponse (Figure 7.10). Pour cet encodeur, nous n'avons pas pu reprendre la disposition traditionnelle d'un pavé numérique de clavier traditionnel car nous étions limités en hauteur vu l'utilisation du cache. L'utilisateur ne doit pas valider sa réponse, l'application le fait automatiquement lorsque les 30 secondes sont écoulées.

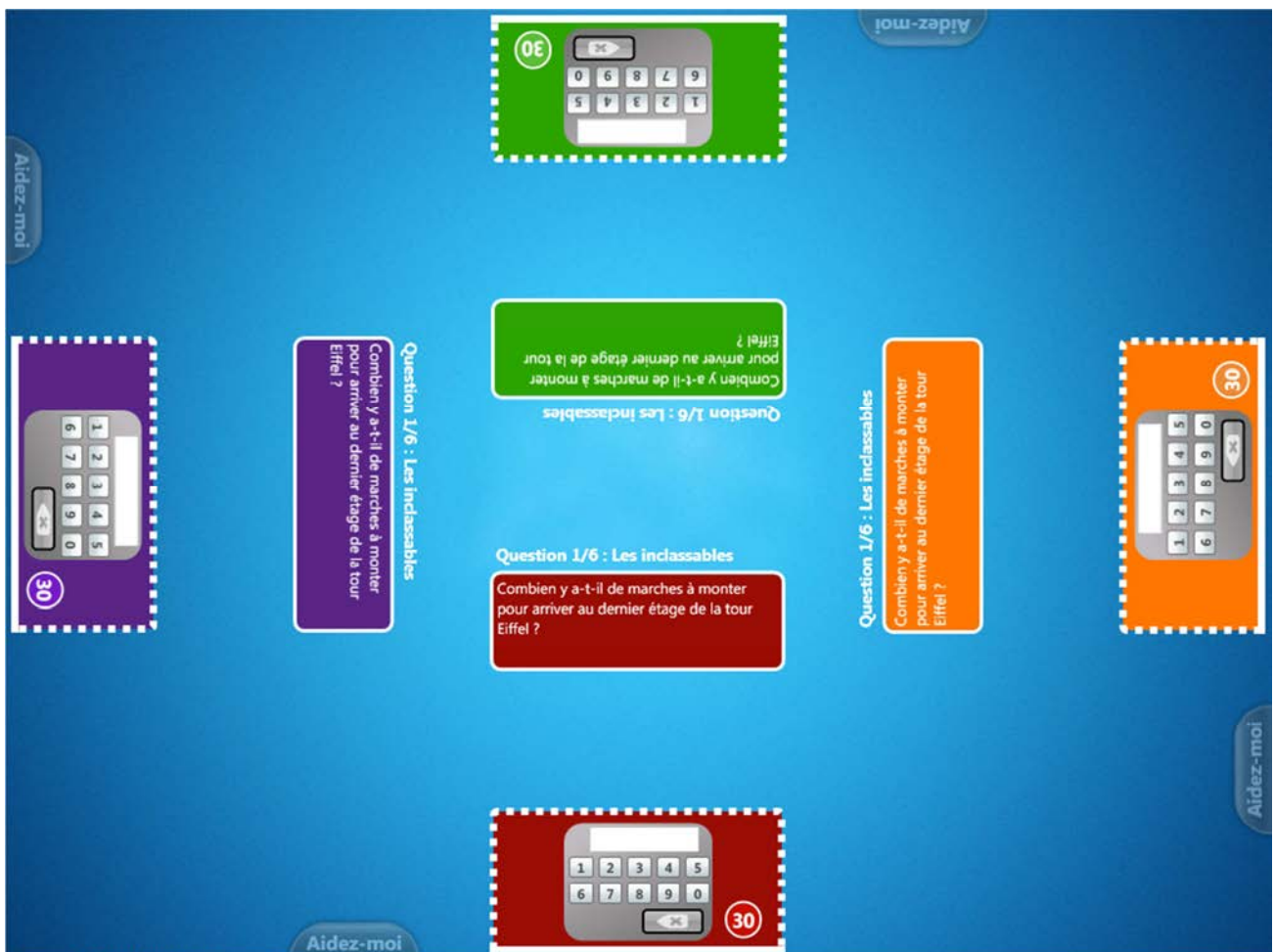


Figure 7.10 : Etape 3 - encodage des réponses.

La question du jeu étant posé grâce à la synthèse vocale, il se peut que la question ne soit pas toujours audible ou compréhensible (par ex. certaines questions peuvent contenir des noms de marques que la synthèse ne prononce pas toujours bien). Il se peut aussi qu'un joueur désire réécouter cette question. Pour cela, nous avons ajouté un encadré reprenant le texte de la question

pour chaque joueur (ici, nous avons dupliqué le texte 4 fois car il s'agit de grande phrase). L'encadré a été placé bien au centre de la table afin que, même avec la présence du cache, l'utilisateur puisse voir l'énoncé de la question. Cet encadré reprend aussi le même mécanisme de barre de défilement si le texte est trop long pour l'encadré.

A côté de l'encodeur, chaque utilisateur peut voir le temps restant. Durant le décompte, l'application joue une petite mélodie un peu « stressante » pour donner un peu de rythme au jeu et donner un léger stress à l'utilisateur surtout lorsqu'il ne reste plus que quelques secondes. La synthèse vocale annonce aussi à trois reprises le nombre de secondes restantes (à 20, 10 et 5 secondes) et réalise un décompte final : « 3, 2, 1, temps écoulé ». Une fois les 30 secondes écoulées, le jeu passe automatiquement à la phase suivante.

### 7.3.4 Etape 4 – tri des réponses

L'étape suivante est le tri des réponses de tous les participants. Bien que cette étape pourrait être réalisée directement par l'application, nous avons voulu que celle-ci se fasse par les joueurs afin d'avoir une tâche collaborative durant le jeu.

Toutes les réponses sont affichées et les utilisateurs doivent les trier d'en l'ordre croissant (Figure 7.11).

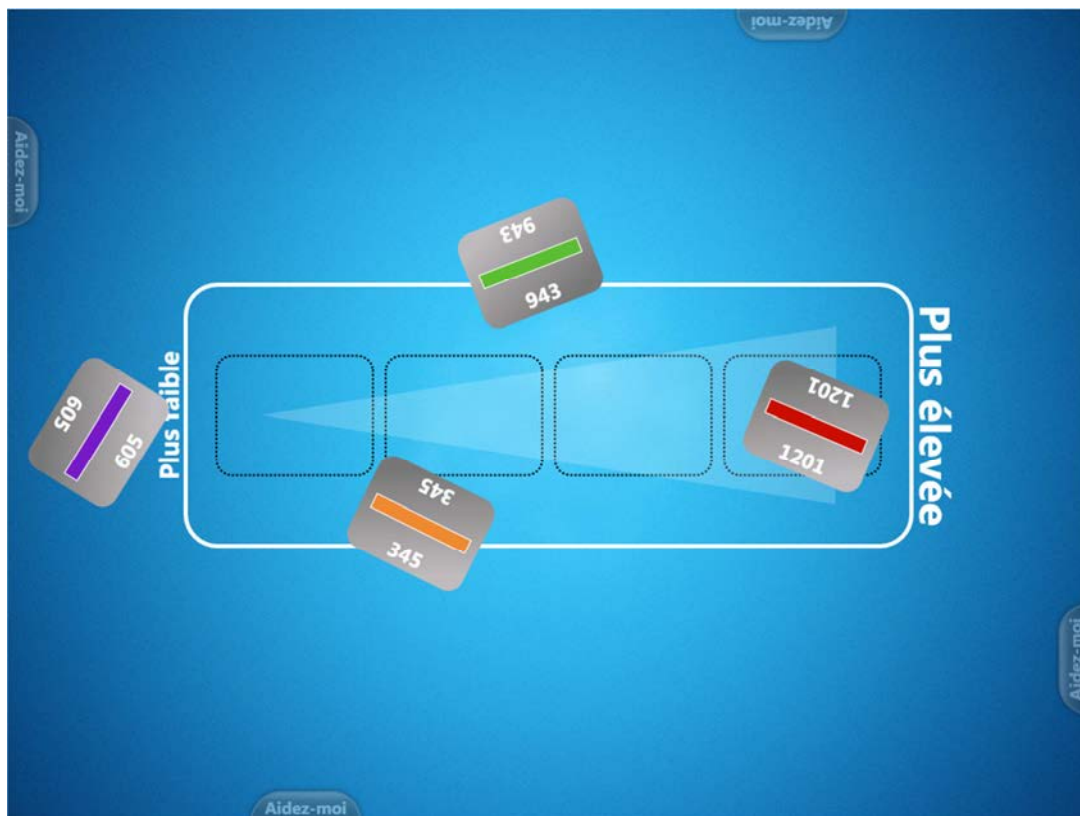


Figure 7.11 : Etape 4 - tri des réponses.

Ils peuvent déplacer les réponses à l'aide d'un ou plusieurs doigts. Pour cette interaction, nous avons repris le mécanisme fourni par le Framework de développement qui simule un déplacement avec inertie ainsi que des rotations des réponses de façon assez naturelle (comme le déplacement d'une feuille de papier sur une table traditionnelle).

Une fois que l'application détecte que le tri est réalisé, elle demande au joueur toujours à l'aide de la synthèse vocale, de prendre leurs jetons nécessaires à l'étape suivante. Une fois les jetons en leur possession, les joueurs peuvent signaler qu'ils sont prêts (appui sur un bouton).

### 7.3.5 Etape 5 – paris sur les réponses

La dernière étape du jeu, qui a été la plus complexe à mettre en œuvre, est celle de la phase des paris sur les réponses.

La première phase de cette étape, c'est d'afficher les réponses triées des participants ainsi que les différents points accordés en cas de paris corrects par les joueurs (Figure 7.12).



Figure 7.12 : Etape 5 - paris sur les réponses.



Sur l'interface des paris, nous avons repris la question qui est liée à ces réponses. L'affichage du décompte est toujours présent pour chaque participant.

Concernant la mise en tant que tel, nous avons voulu que celle-ci se fasse à l'aide d'objets tangibles comme c'est le cas dans le jeu traditionnel. Nous avons donc créé des jetons en plexiglass transparent auquel nous avons collé en-dessous les tags reconnu par le logiciel reactIVision. Au-dessus de ces jetons, est collée une étiquette avec la couleur et le type de jeton (Figure 7.13).



Figure 7.13 : Objets tangibles (jetons de paris) - A gauche le tag reconnu par reactIVision et collé en-dessous de l'objet ; A droite vue du dessus avec l'étiquette de couleur.

Le logiciel reactIVision va alors reconnaître les objets tangibles disposés sur la table et va directement envoyer l'identifiant du tag ainsi que les coordonnées X-Y de celui-ci (nous avons utilisé 12 tags différents donc, 3 jetons par participant). Pour les coordonnées X-Y, nous avons dû réaliser un calibrage de celles-ci. En effet, nous ne pouvions pas utiliser le calibrage du logiciel reactIVision car pour rappel, notre caméra PS3Eye (pour les objets tangibles uniquement) a un champ de vision plus restreint et ne couvre donc pas tout l'écran de projection. Or, il faut savoir que le mécanisme de calibrage prévu dans reactIVision ne fonctionne que si la caméra couvre tout l'écran. Nous avons donc dû avoir recours à un algorithme de calibrage dans notre application. Pour cela, nous avons utilisé l'algorithme « MMSE-Based Multipoint Calibration Algorithm for Touch Screen Applications » de Jia [2009].

L'application affiche des ronds de couleurs aux coordonnées calibrées des différents objets tangibles. L'utilisation d'objets transparents permet de donner un retour visuel directement sous ceux-ci (Figure 7.14).



Figure 7.14 : Objets tangibles sur la table avec retour visuel directement sous ceux-ci.

Une fois les 30 secondes écoulées, la synthèse vocale donne la bonne réponse et annonce les résultats des

points obtenus par chaque participant. S'il s'agissait de la dernière question de la partie alors, elle donne le nom du vainqueur final sinon, le jeu se poursuit à l'étape 3 (boucle).

## **7.4 Remarques sur le développement sur table**

Durant le développement de ce jeu pour la table interactive et coopérative, nous avons été confrontés à quelques « nouveautés » par rapport à un développement traditionnel.

La première, qui nous a le plus marquée, c'est la nécessité de devoir gérer plusieurs utilisateurs. Il est vrai que le Framework que nous avons utilisé permet de gérer plusieurs interactions simultanément. Toutefois, dans la logique « business » de notre application, il est nécessaire de tenir compte de tous les utilisateurs.

Une autre nouveauté concerne les tests de l'application. En effet, lorsqu'il faut la tester, il est souhaitable d'avoir plusieurs utilisateurs, ce qui n'est pas toujours possible. Nous avons alors dans certains cas, simulé leurs présences.

Nous avons développé notre application à l'aide d'un ordinateur traditionnel et d'un écran normal. Cependant, il faut faire attention car en général, l'écran n'a pas la même résolution que la table ni un même rendu des couleurs. Nous avons donc régulièrement testé l'application sur la table afin d'avoir le rendu exact des interfaces utilisateurs.

Enfin, il faut noter que les deux logiciels de traitement d'images que nous utilisons (CCV et reactIVision) consomment pas mal de ressources CPU, presque 50% de celui-ci. Afin que l'application du jeu ne soit pas pénalisée par cette consommation, nous avons décidé d'exécuter les deux logiciels de traitement d'images sur autre ordinateur que celui où tourne l'application. Cela n'a pas posé de problème car les deux logiciels (CCV et reactIVision) utilisent le protocole TUIO qui est un protocole réseau.

## 8 Evaluation

Nous souhaitons connaître l’avis de quelques utilisateurs sur l’interaction qu’ils peuvent avoir avec notre table interactive et coopérative au travers de l’adaptation du jeu de société *Gambit7*. Nous avons donc réalisé un test de la table et du jeu auprès de 16 participants. Ce chapitre reprend les explications du test et du questionnaire ainsi que les résultats obtenus.

### 8.1 Le test

Le test de la table et du jeu a été réalisé aux Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix de Namur auprès d’un échantillon de 16 participants constitué de professeurs, assistants et autres membres du personnel de la Faculté d’informatique. Le test était précédé d’une explication des règles du jeu de société *Gambit7* développé pour la table. Ensuite, par groupe de 4, les participants ont joué au jeu durant un peu plus d’une quinzaine de minutes (6 questions). A la fin de la partie, ils ont été invités à répondre au questionnaire qui se trouve en Annexe D.

### 8.2 Le questionnaire

Le questionnaire est divisé en deux parties. La première comprend 7 questions concernant le profil utilisateur des participants. La seconde propose 27 affirmations comme dans l’exemple ci-dessous.

*Exemple d’affirmation:*

*Je me sens aussi à l’aise avec une table interactive qu’avec un ordinateur de bureau.*

☐ *Pas du tout d’accord*      ☐ *Pas d’accord*      ☐ *D’accord*      ☐ *Tout à fait d’accord*

Voici l’explication de l’échelle donnée aux utilisateurs :

- *Vous devez cocher la première case si vous n’êtes pas du tout d’accord avec cette affirmation.*
- *Vous devez cocher la deuxième case si, dans l’ensemble, vous n’êtes pas d’accord avec cette affirmation.*
- *Vous devez cocher la troisième case si, dans l’ensemble, vous êtes d’accord avec cette affirmation.*
- *Vous devez cocher la quatrième case si vous êtes tout à fait d’accord avec cette affirmation.*

Les 27 affirmations ont été regroupées en cinq thèmes : table interactive, collaboration, interactions avec la table, utilisation du son et déroulement du jeu.

A la fin du questionnaire, les participants pouvaient donner leurs avis et remarques sur l'interaction qu'ils ont eue avec la table interactive et coopérative au travers du jeu *Gambit7*.

## 8.3 Résultats

Voici les réponses<sup>1</sup> des participants aux questions qui ont été posées.

### 8.3.1 Profil utilisateur

Notre échantillon est constitué de 4 femmes et de 12 hommes ayant une moyenne d'âge de 35 ans. La répartition des âges se trouve à la Figure 8.1. Tous les participants utilisent quotidiennement un ordinateur et seulement l'un d'eux n'a jamais utilisé d'écran tactile auparavant. 3 personnes ont déjà utilisé au préalable une table interactive et coopérative et 3 participants ont déjà joué au jeu *Gambit7* avant le test.

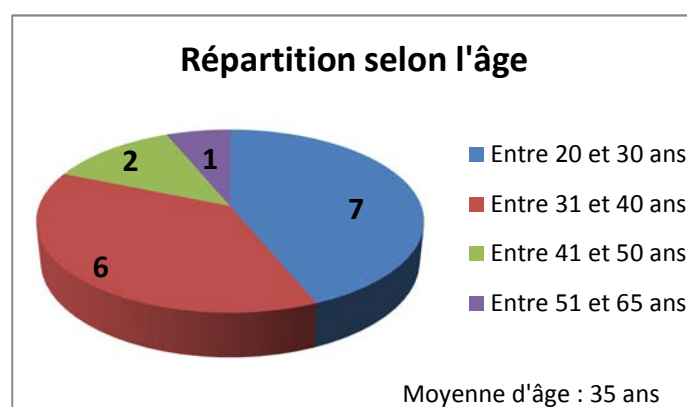


Figure 8.1 : Répartition de l'âge des participants au test.

<sup>1</sup> Certains participants n'ayant pas répondu à toutes les questions, nous l'avons signalé dans la légende des graphiques. Une donnée manquante signifie qu'un participant n'a pas répondu à une question.



### 8.3.2 Affirmations

#### Table interactive

Une première série de 6 questions (Figure 8.2) ont été posées sur l'interaction que les participants ont eue avec la table interactive et coopérative. Il en ressort que 11 participants<sup>1</sup> se sont sentis aussi à l'aise avec la table qu'avec un ordinateur de bureau. 14 participants n'ont pas eu de difficultés pour s'habituer à la table et 10 conseillent l'usage des tables interactives à n'importe qui.

Selon les données de Ashdown, Tuddenham et Robinson [2010, p. 79], la table que nous avons développée est une table de petite taille (pour rappel, la taille de sa surface d'interaction est de 73cm sur 55cm). Nous avons donc demandé aux participants s'ils jugeaient celle-ci trop petite pour pouvoir jouer au jeu. Ils ont tous répondu par la négative.

La plupart des tables que nous avons rencontrées dans la littérature sont des tables de forme rectangulaire (la nôtre aussi). Cependant, il existe aussi des tables rondes comme la reacTable de Jordà et al. [2007]. Il n'y a que deux participants qui auraient préféré une table ronde à la place d'une table rectangulaire.

Enfin, trois personnes ont été gênées par l'obligation de rester debout durant le test et l'explication des règles (un peu plus d'une vingtaine de minutes au total). Comme l'a montré le chapitre sur l'ergonomie physique (section 5.7), l'idéal est d'avoir une table permettant d'être assis ou du moins, d'avoir un appui fesses.

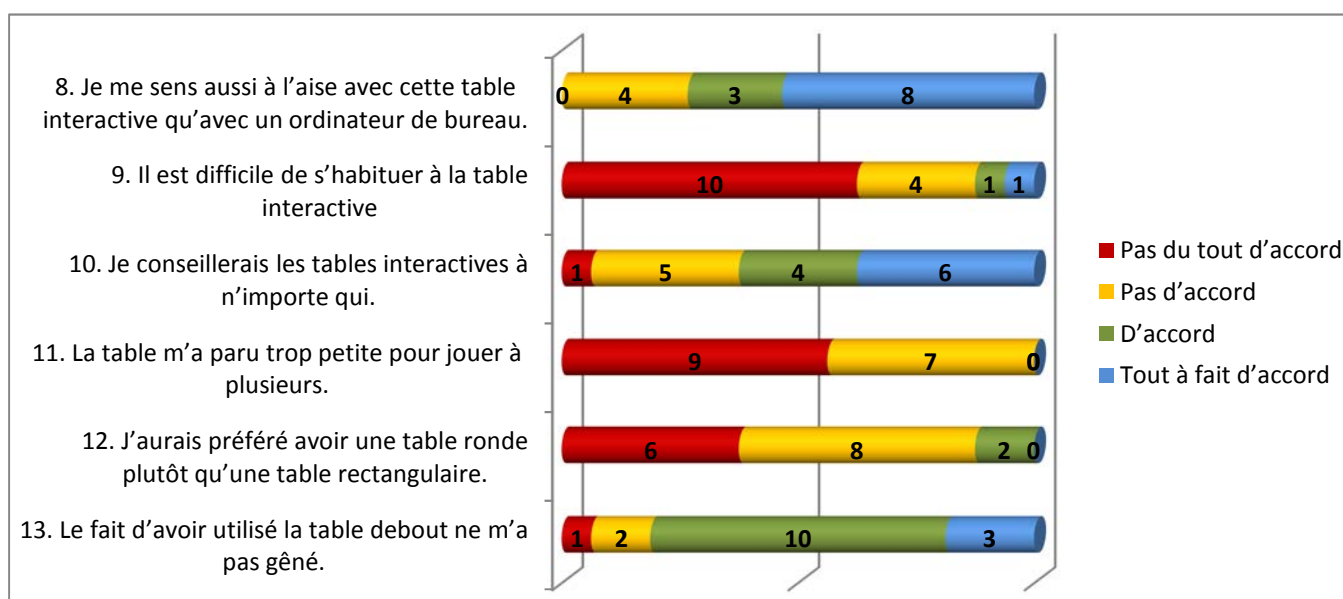


Figure 8.2 : Questions et résultats à propos de l'interaction avec la table (une donnée manquante pour la question 8).

<sup>1</sup> Une donnée manquante pour cette question.

## *Collaboration*

5 questions à propos de la collaboration sur table interactive et coopérative ont été posées. Les résultats se trouvent à la Figure 8.3.

Tout d'abord, sachant que la collaboration est un des avantages des tables interactives et coopératives (section 4.2), nous voulions savoir si les participants étaient d'accord avec cette affirmation. 12 participants<sup>1</sup> ont répondu par l'affirmative, mais aucun d'eux n'a dit qu'il était « Tout à fait d'accord ».

Ils sont tous d'avis que la table est une meilleure solution que l'ordinateur traditionnel pour jouer au jeu.

L'utilisation de la table a donné l'envie à 15 participants d'utiliser des applications collaboratives dans le futur.

Au début du jeu, les joueurs étaient invités à choisir en commun une carte de questions pour le déroulement de la partie. 5 personnes ont répondu qu'il avait été nécessaire de discuter oralement avant de choisir qui allait réaliser cette opération commune. Cependant, il est étonnant de savoir que ces 5 personnes ne font pas toutes parties d'un même groupe. En effet, nous avons constaté que certaines membres d'un groupe ont répondu qu'une discussion avait été nécessaire alors que d'autres ont répondu le contraire.

La dernière question à propos de la collaboration porte sur les conflits possibles lors d'interactions dans des zones de groupes. Durant le jeu, il y a deux phases pour lesquelles il y a des interactions dans de telles zones (phase de tri des réponses et phase des paris).

Pour cette affirmation, nous avons obtenu une parfaite égalité. 8 participants ont répondu qu'ils étaient d'accord ou tout à fait d'accord pour dire qu'il y a eu des conflits tandis que 8 autres ont répondu n'être pas d'accord ou pas du tout d'accord.

Lors du test, nous avons filmé les participants. Nous avons ainsi pu revoir les interactions dans les zones de groupes. Nous avons constaté que lors de la phase de tri des réponses, la plupart des participants désiraient trier eux-mêmes leur réponse même si celle-ci devait être mise assez loin d'eux. Cette situation a fait qu'à certains moments, plusieurs bras se croisaient au-dessus de la table. Une solution à ces conflits aurait pu être qu'un joueur devant placer une réponse trop loin de lui, donne plutôt sa réponse à un autre participant, mieux situé que lui, pour la placer au bon endroit.

---

<sup>1</sup> Une donnée manquante pour cette question.

Par contre, pour la phase des mises, il est plus compréhensible qu'il y ait des conflits. En effet, les joueurs doivent réaliser leurs mises endéans les 30 secondes. De plus, ces interactions se déroulant dans un contexte de jeu, il est possible que la compétition entre les différents participants ait sa part de responsabilité dans ces conflits.

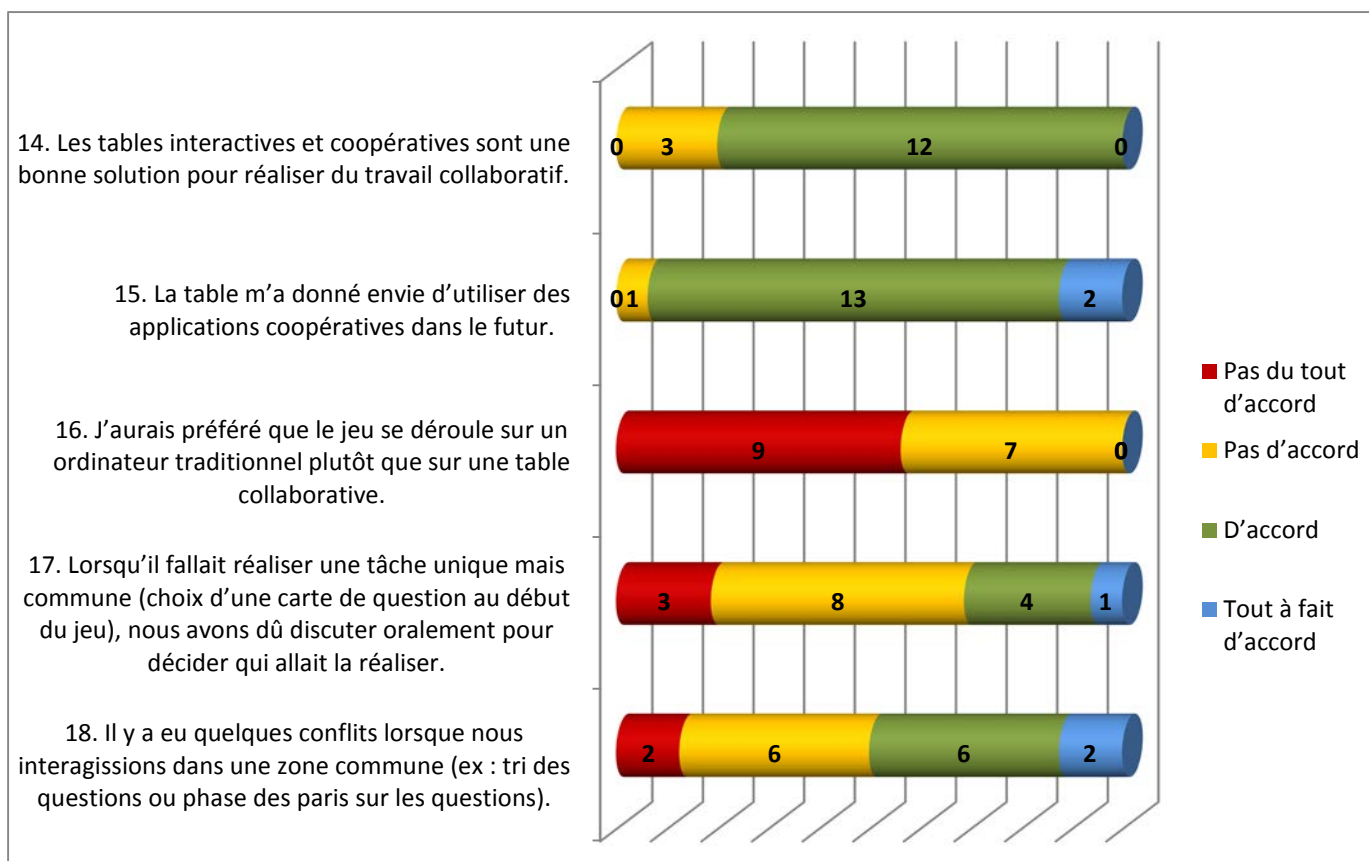


Figure 8.3 : Questions et résultats concernant la collaboration (une donnée manquante pour la question 14).

## *Interactions avec la table*

Le troisième groupe d'affirmations est consacré aux interactions avec la table dont les résultats sont présentés à la Figure 8.3.

Environ deux tiers des participants ont trouvé l'utilisation des doigts plus facile que celle d'une souris pour réaliser les interactions. Toutefois, 5 personnes ont dit le contraire. Il faut noter que la table étant plus un prototype qu'un produit fini, il est possible qu'il y ait eu à certains endroits, un léger décalage (quelques millimètres) entre le doigt et l'interaction réellement perçue par le système.

Au niveau de la fatigue physique, après les 20 minutes de test, personne n'a éprouvé une fatigue du bras.

Au début du jeu, les participants étant invités à encoder leur nom de joueur, ils ont donc eu recours à l'utilisation d'un clavier virtuel tactile. Pour 12 participants, cette utilisation n'a pas été plus facile qu'une saisie à l'aide d'un clavier traditionnel physique. Comme expliqué dans la section 5.5 concernant la saisie de texte sur table interactive, l'inconvénient majeur d'un tel clavier virtuel est l'absence de retour tactile lors de la frappe (ce qu'un clavier physique supporte).

Un des avantages de l'interaction à l'aide d'objets tangibles qui a été évoqué au point 4.1.3 est le fait qu'il s'agit d'une interaction très naturelle et intuitive pour l'utilisateur et que ces objets lui fournissent une sensation de toucher que n'apporte pas des éléments virtuels. Nous avons donc demandé aux participants s'ils trouvaient l'utilisation d'objets tangibles plus naturelle que l'utilisation d'éléments virtuels. 11 participants ont effectivement trouvé l'utilisation plus naturel alors que 5 n'étaient pas d'accord avec cette affirmation.

Un des défauts des technologies optiques (que notre table utilise) est le recours à un traitement d'image assez complexe (voir point 2.2.3). Ce traitement complexe peut provoquer un certain décalage entre le moment où l'utilisateur interagit physiquement avec la table et le moment où le système prend en considération cette interaction. Près des deux tiers des participants ont remarqué ce décalage lors de l'utilisation de la table.

Enfin, tous les participants ont affirmé qu'ils ont pu contrôler la table avec facilité.

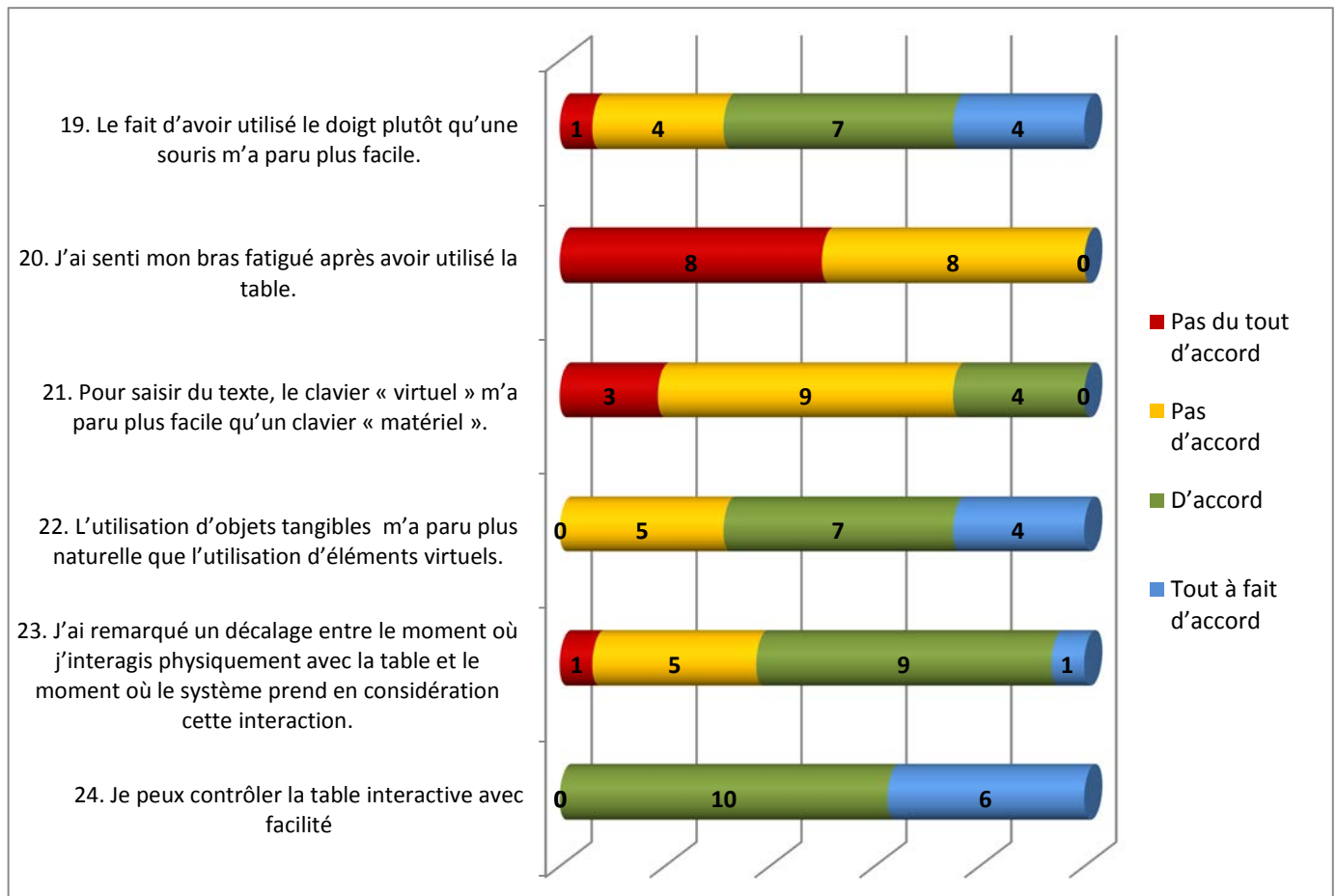


Figure 8.4 : Questions et résultats concernant l'interaction avec la table.

### Utilisation du son

Pour l'adaptation du jeu *Gambit7*, nous avons décidé d'utiliser du son (synthèse vocale et musique).

Comme nous le voyons à la Figure 8.5, tous les participants sont d'accord pour dire que cette utilisation du son les a plus aidé que gêné et 15 d'entre eux ont affirmé que le son leur a donné l'impression d'une meilleure immersion dans le jeu.

La synthèse vocale sert à donner des instructions durant la partie. Ces instructions ne sont lues qu'une seule fois et il n'est pas possible de les réécouter. 6 participants<sup>1</sup> auraient parfois voulu les réécouter car ils ne les avaient pas bien comprises.

Nous avons également voulu savoir si les joueurs pensaient que l'utilisation du son leur a demandé plus de concentration. Ils n'ont été que deux à penser cela<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Une donnée manquante pour cette question.

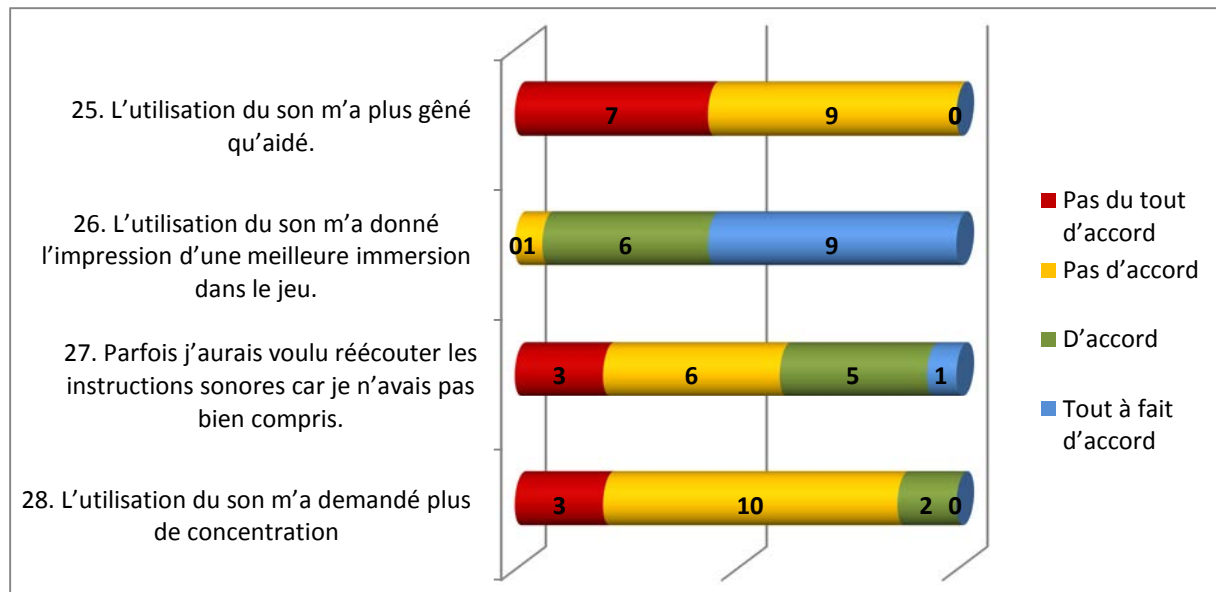


Figure 8.5 : Questions et résultats à propos de l'utilisation du son dans le jeu (une donnée manquante à la question 27 et 28).

### Déroulement du jeu

Les 6 dernières affirmations du questionnaire concernent le déroulement du jeu. La Figure 8.6 indique les questions et réponses en rapport avec ce thème.

Tout d'abord, nous avons demandé si les joueurs avaient utilisé le bouton d'aide durant le jeu et si oui, cela leur a-t-il été utile. Tous les participants nous ont répondu qu'ils n'ont pas utilisé le bouton d'aide. Cela peut peut-être s'expliquer par le fait que le jeu a été expliqué clairement au début. De plus, nous avons remarqué en analysant les vidéos du test que si un joueur était bloqué, il demandait soit de l'aide aux autres joueurs, soit il était directement aidé par les autres.

Dans l'adaptation du jeu, nous avons mis en place un système qui permet de vérifier que tous les joueurs sont prêts avant de passer à une étape suivante du jeu. Ce système consiste à afficher un message dans la zone personnelle de chaque joueur qui l'invite à cliquer sur un bouton lorsqu'il est prêt à passer à l'étape suivante. 3 participants<sup>1</sup> nous ont signalé que cette attente des autres joueurs était dérangeante pour eux.

En analysant les vidéos, nous avons constaté qu'à certains moments, les utilisateurs ne voyaient pas le message apparaître leur proposant de signaler qu'ils sont prêts. Ainsi, le déroulement du jeu fût quelquefois bloqué. En général, après quelques secondes, l'utilisateur se rend compte qu'il doit pousser sur le bouton pour poursuivre ou alors, un autre joueur le lui signale.

<sup>1</sup> Une donnée manquante pour cette question.

Nous avons également remarqué que les participants ne regardaient pas toujours l'écran. Ceci pourrait en partie expliquer le fait qu'ils ne voyaient pas le message apparaître. En effet, parfois, les utilisateurs discutaient entre eux et l'écran étant placé de manière horizontale, ils ne pouvaient donc pas apercevoir immédiatement le message. Il aurait peut-être été utile de renforcer l'apparition du message par l'utilisation d'un son particulier.

Nous avons également demandé si les joueurs pensaient que le fait ne pas pouvoir revenir en arrière dans le jeu était gênant. 4 personnes<sup>1</sup> ont signalé cette gêne. Or, il s'agit d'un jeu de société qui en général ne permet pas de revenir en arrière. De plus, à chaque étape, nous demandions à chaque utilisateur s'il était prêt à poursuivre. Même s'il avait signalé qu'il était prêt, nous lui laissions la possibilité de changer d'avis et de signaler qu'il ne l'était plus.

Une seule personne<sup>1</sup> nous a affirmé qu'à un moment donné dans le jeu, elle ne savait pas comment poursuivre.

Un problème soulevé lors de l'utilisation des tables interactives et coopératives est l'orientation des éléments textuels. Nous avons respecté la recommandation ergonomique citée à la section 5.2 qui stipule :

*S'il s'agit de nombres (quelques chiffres), de petits mots voire de petites phrases, il n'est pas nécessaire de s'assurer que tous les utilisateurs de la table voient les éléments textuels avec zéro degré de rotation. Cette recommandation ergonomique permet notamment de ne pas devoir créer des interfaces surchargées par des répliques de texte qui permettent de s'assurer que tous les utilisateurs aient les éléments textuels face à eux.*

Dans le jeu, certains joueurs doivent lire des nombres ou petits mots orientés à 90 degrés (il n'y a pas d'éléments textuelle qui soient complètement à l'envers pour un joueur). Seulement 4 participants<sup>1</sup> nous ont signalé qu'ils ont éprouvé des difficultés à lire des éléments textuels mal orientés. De plus, nous avons vérifié si ces 4 participants étaient ceux qui avaient le plus d'éléments mal orientés<sup>2</sup> et nous avons constaté que ce n'était pas le cas. Seulement 2 d'entre eux ont eu plus de textes mal orientés que les autres. Ces résultats nous montrent que la recommandation ergonomique citée ci-dessus doit être appliquée, qu'il n'est pas nécessaire de dupliquer tous les petits textes ou nombres afin de ne pas surcharger l'interface pour rien.

---

<sup>1</sup> Une donnée manquante pour cette question.

<sup>2</sup> Ce sont les joueurs situés sur les petits côtés de la table (leur couleur attribuée étant l'orange ou le mauve) qui ont le plus d'éléments textuels mal orientés.

La dernière affirmation de ce questionnaire demande si les participants ont éprouvé plus de satisfaction à jouer sur table interactive que de jouer à un jeu de société traditionnel. Nous avons été étonnés par les réponses des joueurs. Malgré le fait que la table qui servi de test soit plus un prototype qu'un produit fini et que l'adaptation du jeu ne soit pas d'un niveau graphique comparable à un vrai jeu de société (même si nous avons essayé de nous en approcher au maximum), la moitié des participants ont en effet affirmé que jouer sur table interactive leur donne plus de satisfaction que de jouer à un jeu de société traditionnel. Il est possible que la synthèse vocale et le son qui ont été ajoutés pour animer davantage le jeu et que quelques éléments physiques tels les jetons qui rappellent un jeu de société traditionnel aient rendu ce jeu plus attrayant. Notons cependant que les 3 participants qui avaient déjà joué au jeu *Gambit7* auparavant n'ont pas trouvé plus de satisfaction.

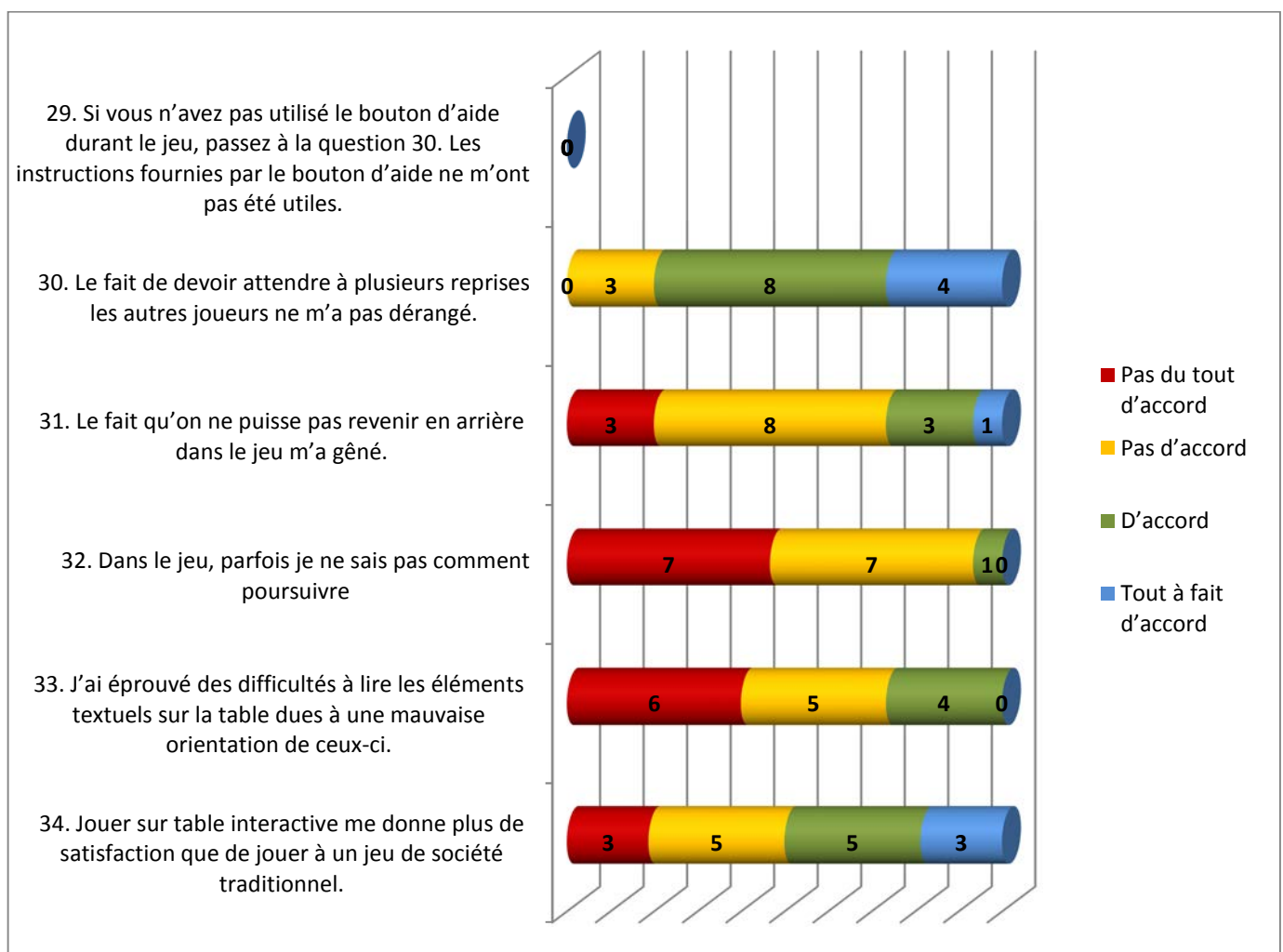


Figure 8.6 : Questions et résultats sur le déroulement du jeu (une donnée manquante à la question 30, 31, 32 et 33).



### 8.3.3 Avis et remarques des participants

11 participants sur 16 ont donné un avis ou formulé une remarque sur l'interaction qu'ils ont eue avec la table interactive et coopérative au travers du jeu *Gambit 7*.

La grande majorité (9 répondants sur 11) ont donné un avis très positif. Soit ils trouvent la réalisation « assez plaisante », « amusante », « très ludique », « interactive et facile à jouer » ou « géniale », soit ils estiment que l'application est « une excellente application de la technologie tactile (jeu coopératif) », « une très belle réalisation » ou encore une « expérience très agréable qui donne une nouvelle dimension au jeu ».

3 personnes soulignent quelques difficultés techniques : jeton non reconnu, pointeur décalé, problème d'annulation d'une mauvaise réponse ou qu'il y a encore « des imperfections techniques qui diminuent le caractère « naturel » de l'interaction »

Un répondant propose de réfléchir à de nouvelles interactions avec les éléments virtuels, un autre suggère prévoir des emplacements de rangement pour les jetons afin d'éviter aux joueurs de les confondre.

Une personne déclare avoir eu mal au dos et préférer jouer assise surtout si le jeu dure plus de 20 minutes tandis qu'une autre signale sa tendance à faire le travail à la place des autres.

Enfin, un participant est intéressé par les possibilités d'adaptation de jeux plus complexes et l'utilisation dans des tâches professionnelles (modélisation, architecture...) et un autre « ne remplacerait pas tous ces jeux par cette technique mais dans certains cas, cela peut-être très intéressant (par exemple comptage automatique des points) et surtout très ludique ».

# Conclusion

---

Ce mémoire avait pour objectif d'une part, de présenter un état de l'art des tables interactives et coopératives et d'autre part, de mettre en application principalement des technologies, des pratiques, des conseils ergonomiques rencontrés au cours de cette présentation.

Dans la première partie consacrée à l'état de l'art, nous avons rappelé les principaux faits qui ont marqué le développement des tables interactives et coopératives depuis déjà une vingtaine d'années. Ce rappel nous a permis de constater l'évolution des technologies ainsi que l'apparition de nouveaux concepts tant dans le domaine de l'Interaction Homme-Machine que dans celui du travail coopératif assisté par ordinateur.

Nous avons ensuite exposé les différentes technologies qui peuvent être utilisées par les tables interactives et coopératives dans le but de donner un aperçu global au niveau du matériel et ainsi comprendre certaines contraintes ou fonctionnalités.

Nous avons mis en évidence les technologies logicielles nécessaires à leur fonctionnement. Le développement pour table interactive et coopérative étant différent de celui pour ordinateur traditionnel, nous avons présenté les principaux Frameworks de développement adaptés à leur contexte.

Si les tables interactives et coopératives apportent des avantages très intéressants tels que de nouvelles interactions, le support de la coopération ainsi que la mise à disposition d'une grande surface de travail, leur utilisation peut néanmoins soulever quelques problèmes. Ceux-ci ont été abordés en même temps que des solutions.

Nous avons également proposé quelques interfaces utilisateurs afin de remplacer le concept des interfaces utilisateurs graphiques (GUI) qui n'est plus adapté au contexte des tables.

Nous avons cité quelques utilisations récentes des tables dans des domaines variés et avons indiqué leur apport spécifique.

La seconde partie du mémoire est centrée sur l'implémentation. Le premier challenge a été de créer entièrement une table interactive et coopérative. Pour cette réalisation, nous nous sommes basés sur la technologie FTIR de Han [2005] ainsi que sur les nombreuses recherches qui en

découlent. Au cours de cette construction, nous avons trouvé une nouvelle solution qui permet d'ajouter le support d'objets tangibles à la technologie FTIR.

Un deuxième défi a été de réaliser une adaptation du jeu de société *Gambit 7* pour une utilisation sur la table interactive et coopérative créée. Au cours du développement, nous avons tenté de mettre en application au maximum les différents aspects abordés dans l'état de l'art. Nous avons essayé par exemple de créer une interface naturelle, d'utiliser du son pour ajouter une modalité supplémentaire d'interaction et d'apporter le support de la reconnaissance d'objets tangibles.

Pour clôturer la partie implémentation, nous avons procédé à une évaluation de notre table et du jeu auprès de 16 participants. Celle-ci a pu confirmer certains points abordés dans la première partie de notre étude dont notamment l'orientation des éléments textuels, la saisie de texte et le décalage temporel lors de l'interaction. Nous avons été agréablement surpris par l'accueil favorable des participants à l'égard de la table et du jeu.

Cette implémentation nous a permis de rencontrer plusieurs facettes de l'informatique : le développement logiciel, l'ergonomie logicielle, la communication réseau, le traitement d'images...

Au terme de ce mémoire, nous sommes personnellement convaincus par les différents apports positifs de l'utilisation des tables interactives et coopératives telles que les interfaces naturelles, les interfaces tangibles, la collaboration.

Comme le soulignent Besacier et al. [2007], le succès des tables interactives et coopératives n'est pas encore réel même si le prix de celles-ci devient de plus en plus abordable. Toutefois, ces auteurs [2007, p. 271] restent positifs sur l'adoption des tables interactives et coopératives :

*«... de nombreux travaux de recherche en IHM font le pari que le verrou à lever se situe entre des systèmes mal adaptés à ce nouvel usage et des utilisateurs qui ne peuvent pas se permettre de remettre complètement en question un des outils principaux de leur vie professionnelle ».*

Nous espérons que ce verrou sera levé d'ici peu afin de pouvoir profiter pleinement de ce bel outil que sont les tables interactives et coopératives.

# Bibliographie

---

- 3M United States. (n.d.). *3M™ Multi-Touch Display C3266PW*. Retrieved Août 5, 2011, from 3M: [http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/TouchSystems/TouchScreen/Solutions/MultiTouch/C3266PW](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/TouchSystems/TouchScreen/Solutions/MultiTouch/C3266PW)
- ACM ; SIGCHI . (2011). *CSCW 2012: The 2012 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*. Retrieved Août 2011, 15, from <http://www.cscw2012.org/>
- Annett, M., Anderson, F., Goertzen, D., Halton, J., Ranson, Q., Bischof, W. F., et al. (2009). Using a multi-touch tabletop for upper extremity motor rehabilitation. *Proceedings of the 21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group*, pp. 261-264.
- Ashdown, M., Tuddenham, P., & Robinson, P. (2010). High-Resolution Interactive Displays. In C. Müller-Tomfelde, & C. Müller-Tomfelde (Ed.), *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 71-100). Springer London.
- Bachl, S., Tomitsch, M., Wimmer, C., & Grechenig, T. (2010). Challenges for Designing the User Experience of Multi-touch Interfaces. *Engineering Patterns for Multi-Touch Interfaces workshop (MUTI'10) of the ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*.
- Besacier, G., Vernier, F., Chapuis, O., & Roussel, N. (2007). Redirection d'applications existantes et nouvelles interactions pour des usages collaboratifs co-localisés sur une table interactive. *Proceedings of the 19th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (IHM '07)*, pp. 271-274.
- Blake, J. (2011). *Natural User Interfaces in .NET*. Manning.
- Brandl, P., Leitner, J., Seifried, T., Haller, M., Doray, B., & To, P. (2009). Occlusion-aware menu design for digital tabletops. *Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 3223-3228.
- Buxton, B. (2011). *Multi-touch systems that I have known and loved*. Retrieved Août 12, 2011, from <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>
- Castellucci, S. J., & MacKenzie, I. S. (2008). Graffiti vs. unistrokes: an empirical comparison. *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 305-308.
- Castellucci, S. J., & MacKenzie, I. S. (2011). Gathering text entry metrics on android devices. *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 1507-1512.

- Chaboissier, J., & Vernier, F. (2009). Conception de jeux interactifs temps réel sur tabletop. *Proceedings of the 21st International Conference on Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, pp. 313-322.
- Code Laboratories. (2011). *Code Laboratories > About CL Eye Platform*. Retrieved Août 23, 2011, from <http://codelaboratories.com/products/eye/driver/>
- Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande. (2006). *Aménagement général des postes de travail*. Retrieved Août 24, 2011, from <http://www.cusstr.ch/repository/39.pdf>
- Conversy, S., Gaspard-Boulinc, H., Chatty, S., Valès, S., Dupré, C., & Ollagnon, C. (2011). Supporting Air Traffic Control collaboration with a TableTop System. *Proceedings of the ACM 2011 conference on Computer supported cooperative work*, pp. 425-434.
- Correia, N. a., Nóbrega, R., Silva, L., & Almeida, A. (2010). A multi-touch tabletop for robust multimedia interaction in museums. In *ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces* (pp. 117-120). ACM.
- Croné, M., & Tove, J. (2001). *Design of an interactive table*. Master's thesis, University of Stockholm.
- Days of Wonder Inc. (2011). *Home - Gambit 7 | Days of Wonder*. Retrieved Août 27, 2011, from <http://www.daysofwonder.com/gambit7/fr/>
- DealExtreme.com. (2011). *2.8mm~16mm Fixed IRIS Lens Set for Webcams and Security/CCTV Cameras (6-Lens Pack)*. Retrieved Août 18, 2011, from <http://www.dealextreme.com/p/2-8mm-16mm-fixed-iris-lens-set-for-webcams-and-security-cctv-cameras-6-lens-pack-15774>
- DealExtreme.com. (2011). *Mini Eye USB Webcam with 6-LED Illumination (1.3MPixel)*. Retrieved Août 18, 2011, from <http://www.dealextreme.com/p/mini-eye-usb-webcam-with-6-led-illumination-1-3mpixel-5378>
- Dietz, P., & Leigh, D. (2001). DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology. *Proceedings of UIST 2001, the 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 219-226.
- Fitzmaurice, G. W., Ishii, H., & Buxton, W. A. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 442-449.
- George, R., & Blake, J. (2010). Objects, Containers, Gestures, and Manipulations: Universal Foundational Metaphors of Natural User Interfaces. *CHI 2010*. ACM.
- Gorman, M., Quinn, T., Farnsworth, D., Walker, M., & Taylor, K. (2010). *ELEC 499 Final Report*. Department Of Electrical Engineering - University of Victoria.
- Han, J. Y. (2005). Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. *Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 115-118.

- Heidmann, F. (2009). Human-computer cooperation. In H.-J. Bullinger (Ed.), *Technology Guide* (pp. 262-267). Springer Berlin Heidelberg.
- Hinrichs, U., Hancock, M., Collins, C., & Carpendale, S. (2007). Examination of Text-Entry Methods for Tabletop Displays. *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP '07. Second Annual IEEE International Workshop on*, pp. 105 - 112.
- Hodges, S., Izadi, S., Butler, A., Rrustemi, A., & Buxton, B. (2007). ThinSight: versatile multi-touch sensing for thin form-factor displays. *Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 259-268.
- Hušek, J. (2011). Multi-touch Table with Image Capturing. *Proceedings of CESCOG 2011: The 15th Central European Seminar on Computer Graphics*.
- Ideum. (2011). *GestureWorks - Multitouch Software for Flash and Flex*. Retrieved August 5, 2011, from GestureWorks: <http://gestureworks.com/>
- Inami, M., Sugimoto, M., Thomas, B. H., & Richter, J. (2010). Active Tangible Interactions. In C. Müller-Tomfelde, *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 171-187). Springer London.
- Ishii, H. (2008). The tangible user interface and its evolution. *Commun. ACM*, 32-36.
- Ishii, H., & Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. *Proceedings of CHI*.
- Jia, N. (2009). MMSE-Based Multipoint Calibration Algorithm for Touch Screen Applications.
- Jinwook, K., Jong-gil, A., & Heedong, K. (2009). Orientation Responsive Touch Interaction. In J. A. Jacko (Ed.), *Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques* (pp. 461-469). Springer Berlin / Heidelberg.
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M., & Kaltenbrunner, M. (2007). The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces. *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, pp. 139-146.
- Kaltenbrunner, M. (n.d.). *TUIO*. Retrieved August 5, 2011, from TUIO.org: <http://tuio.org/>
- Kaltenbrunner, M., & Bencina, R. (2009, Mai 20). *reactIVision*. Retrieved August 5, 2011, from reactIVision: <http://reactivision.sourceforge.net/>
- Kaltenbrunner, M., Bovermann, T., Bencina, R., & Costanza, E. (2005). TUIO: A Protocol for Table-Top Tangible User Interfaces. *Proceedings of the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation (GW 2005)*.
- Kammer, D., Georg, F., Keck, M., & Wacker, M. (2010). Taxonomy and Overview of Multi-touch Frameworks: Architecture, Scope and Features. *Proceedings of the EICS '10 workshop on Engineering Patterns for Multi-Touch Interfaces*.
- Kölsch, M., & Turk, M. (2002). Keyboards without Keyboards: A Survey of Virtual Keyboards. *Proceedings of Sensing and Input for Media-centric Systems*.

- Kruger, R., Carpendale, S., Scott, S. D., & Greenberg, S. (2003). How people use orientation on tables: comprehension, coordination and communication. *Proceedings of the 2003 international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*, pp. 369-378.
- Kruger, R., Carpendale, S., Scott, S. D., & Greenberg, S. (2004). Roles of Orientation in Tabletop Collaboration: Comprehension, Coordination and Communication. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 13, 501-537.
- Kunz, A., & Fjeld, M. (2010). From Table–System to Tabletop: Integrating Technology into Interactive Surfaces. In C. Müller-Tomfelde, & C. Müller-Tomfelde (Ed.), *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 51-69). Springer London.
- Kuper, B. (2010). *SimProj : Built with Processing*. Retrieved Août 18, 2011, from <http://benjamin.kuperberg.fr/simproj/>
- Leadingtouch technology Co., Ltd. (2010). *Multi Touch SAW Touchscreen of Leadingtouch, Leadingtouch touchscreen, touchmonitor, touchbezel solutions*, <http://www.leadingtouch.com>. Retrieved Août 5, 2011, from Leading Touch: <http://www.leadingtouch.com/product/product03.php?catid=002002002&menuid=002002002007>
- Lee, J., Lee, J., Kim, H., & Kim, J.-I. (2007). Believable interaction with a quasi-tangible tabletop interface: Research Articles. *Comput. Animat. Virtual Worlds*, 121-132.
- Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2003). *Universal Principles of Design: 100 Ways to Enhance Usability, Influence Perception, Increase Appeal, Make Better Design Decisions, and Teach through Design*. Rockport Publishers Inc.
- Mairiaux, P. (2008). *Ergonomie - Notes de cours PSYC 1313-1* (Vol. 1). Les Editions de l'Université de Liège.
- Mankoff, J., & Abowd, G. D. (1998). Cirrin: a word-level unistroke keyboard for pen input. *Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 213-214.
- Maybury, M. T., & Wahlster, W. (1998). *Readings in intelligent user interfaces*. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- McGreggor, D. (2011, Mars 18). *Multitouch - Ubuntu Wiki*. Retrieved Août 5, 2011, from Ubuntu Wiki: <https://wiki.ubuntu.com/Multitouch>
- Microsoft Corporation. (2008). *Microsoft Surface Datasheet*. Retrieved Juillet 20, 2011, from [http://download.microsoft.com/download/7/2/9/729FC97D-692D-4231-ABF3-20B6A1DE8A43/Microsoft\\_Surface\\_Data\\_Sheet.pdf](http://download.microsoft.com/download/7/2/9/729FC97D-692D-4231-ABF3-20B6A1DE8A43/Microsoft_Surface_Data_Sheet.pdf)
- Microsoft Corporation. (2009). *MultiTouch Capabilities in Windows 7*. Retrieved Août 5, 2011, from MSDN Magazine: <http://msdn.microsoft.com/en-us/magazine/ee336016.aspx>

- Microsoft Corporation. (2009). *User Experience Guidelines User : Interaction and Design Guidelines for Creating Microsoft Surface Applications*.
- Microsoft Corporation. (2011). *Microsoft Surface 2.0 SDK*. Retrieved Août 5, 2011, from MSDN Library: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ff727815.aspx>
- Mills, K. L. (2007). Computer-Supported Cooperative Work. In M. Drake, & M. N. Maack (Eds.), *Encyclopedia of Library and Information Science, Second Edition* (pp. 666-677).
- MIRIA SDK - Multi device Input UI controls for Silverlight and Moonlight. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from CodePlex: <http://miria.codeplex.com/>
- Morris, M. J. (2006). *Supporting effective interaction with tabletop groupware*. PhD thesis, University of Stanford.
- MT4j - Multitouch For Java. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from MT4j: <http://www.mt4j.org/>
- Muller, L. Y. (2008). *Multi-touch displays: design, applications and performance evaluation*. Master's thesis, University of Amsterdam.
- Müller-Tomfelde, C., & Fjeld, M. (2010). Introduction: A Short History of Tabletop Research, Technologies, and Products. In C. Müller-Tomfelde, & C. Müller-Tomfelde (Ed.), *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 1-24). Springer London.
- Müller-Tomfelde, C., & O'Hara, K. (2010). Horizontal Interactive Surfaces in Distributed Assemblies. In C. Müller-Tomfelde, & C. Müller-Tomfelde (Ed.), *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 435-456). Springer London.
- NUI Group Authors. (2009). *Multi-Touch Technologies*. NUI Group.
- NUI Group Community. (2010, Septembre 17). *Large LCD Monitors - NUI Group Community Wiki*. Retrieved Août 12, 2011, from NUI Group Community Wiki: [http://wiki.nuigroup.com/Large\\_LCD\\_Monitors](http://wiki.nuigroup.com/Large_LCD_Monitors)
- NUI Group Community. (2011). *Community Core Vision*. Retrieved Août 5, 2011, from <http://nuicode.com/projects/ccv/>
- NUI Group Community. (2011). *NUI Group Community Forums*. Retrieved Juillet 10, 2011, from NUI Group: <http://nuigroup.com/forums>
- NUI Group Community. (2011). *NUI Group Community Wiki*. Retrieved Juillet 2011, 20, from NUI Group: <http://wiki.nuigroup.com/>
- Piper, A. M., & Hollan, J. D. (2009). Analyzing Multimodal Communication around a Shared Tabletop Display. *Proceedings of the 11th European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 283-302.
- Point Grey Research, Inc. (2011). *Point Grey - Imaging - Firefly MV CMOS USB 2.0 / FireWire Camera*. Retrieved Août 18, 2011, from <http://www.ptgrey.com/products/fireflymv/>



- Poirier, F. (2007). Dimensions caractéristiques de l'interaction gestuelle. *Proceedings of the 19th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine (IHM '07)*, pp. 59-62.
- PQ Labs. (2011). *Multi-Touch Screen for LCD large screen, plasma TV display - Touch Screen Overlay*. Retrieved Août 12, 2011, from [http://multi-touch-screen.com/product\\_plus.html](http://multi-touch-screen.com/product_plus.html)
- Privault, C., O'Neill, J., Ciriza, V., & Renders, J.-M. (2010). A new tangible user interface for machine learning document review. *Artif. Intell. Law*, 459-479.
- PyMT : *Open source library for multitouch development*. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from PyMT: <http://pymt.eu/>
- Raisamo, R. (1999). *Multimodal Human-Computer Interaction: a constructive and empirical study*. Tampere University Press.
- Rekimoto, J. (2002). SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, pp. 113-120.
- Rob 'linear' Arnold. (2004). *LED series/parallel array wizard*. Retrieved Août 18, 2011, from <http://led.linear1.org/led.wiz>
- Rogers, Y., Lim, Y.-K., & Hazlewood, W. R. (2006). Extending Tabletops to Support Flexible Collaborative Interactions. *Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems*, pp. 71-78.
- Rosco Laboratories. (2011). *Rosco US : Screens : Rosco Screens*. Retrieved Août 12, 2011, from <http://www.rosco.com/us/screens/roscoscreen.cfm>
- Ryall, K., Forlines, C., Shen, C., & Morris, M. R. (2004). Exploring the effects of group size and table size on interactions with tabletop shared-display groupware. *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, pp. 284-293.
- Safin, S., Boulanger, C., & Leclercq, P. (2005). A Virtual Desktop's First Evaluations for An Augmented Design Process. *Proceedings of Virtual Concept 2005*.
- Salat, L. (2010). Multitouch & Natural User Interface : Opportunités pour une approche Bottom-Up. *Forum sur l'interaction tactile et gestuelle*. Lille.
- Schöning, J., Brandl, P., Daiber, F., Echtler, F., Hilliges, O., Hook, J., et al. (2008). Multi-Touch Surfaces: A Technical Guide. *Technical Report TUMI0833 : Technical Reports of the Technical University of Munich*.
- Schöning, J., Hook, J., Bartindale, T., Schmidt, D., Oliver, P., Echtler, F., et al. (2010). Building Interactive Multi-touch Surfaces. In C. Müller-Tomfelde, & C. Müller-Tomfelde (Ed.), *Tabletops – Horizontal Interactive Displays* (pp. 27-49). Springer London.
- Scott, S. D., & Carpendale, S. (2010). Theory of Tabletop Territoriality. In C. Müller-Tomfelde, *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 357-385). Springer London.

- Scott, S. D., Grant, K. D., & Mandryk, R. L. (2003). System guidelines for co-located, collaborative work on a tabletop display. *Proceedings of the eighth conference on European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 159-178.
- Sears, A. (1991). Improving touchscreen keyboards: design issues and a comparison with other devices. *Interacting with Computers*, 3, 253-269.
- Shen, C. (2007). From clicks to touches: enabling face-to-face shared social interface on multi-touch tabletops. *Proceedings of the 2nd international conference on Online communities and social computing*, pp. 169-175.
- Shen, C., Everitt, K., & Ryall, K. (2003). UbiTable: Impromptu Face-to-Face Collaboration on Horizontal Interactive Surfaces. *Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous computing*, pp. 281-288.
- Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenther, A., Vernier, F. D., Everitt, K., et al. (2006). Collaborative Tabletop Research and Evaluation. In P. a. Dillenbourg (Ed.), *Interactive Artifacts and Furniture Supporting Collaborative Work and Learning* (pp. 111-127). Springer US.
- Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Esenther, A., Vernier, F. D., Everitt, K., et al. (2006). Informing the Design of Direct-Touch Tabletops. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 26, 36-46.
- Siemens Semiconductor Group. (n.d.). *Datasheet SFH485-3 - GaAlAs INFRARED EMITTER*. Retrieved Août 18, 2011, from [http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/134/486597\\_DS.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/134/486597_DS.pdf)
- Tinker, M. A. (1956). Effects of angular alignment upon readability of print. *Journal of Educational Psychology*, pp. 358-363.
- TISCH - *Tangible Interactive Surfaces for Collaboration between Humans*. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from SourceForge: <http://tisch.sourceforge.net/>
- touche - *Camera-based multitouch tracking environment for MacOS X - Google Project Hosting*. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from Google Project Hosting: <http://code.google.com/p/touche/>
- touchlib - *A software library for creating multitouch FTIR displays - Google Project Hosting*. (n.d.). Retrieved Août 5, 2011, from Google Project Hosting: <http://code.google.com/p/touchlib/>
- Tuddenham, P. (2008). Display Resolution. In PhD thesis, University of Cambridge (Ed.), *Tabletop interfaces for remote collaboration* (pp. 74-77).
- Unibrain. (2011). *Unibrain Fire-i firewire digital OEM board camera*. Retrieved Août 18, 2011, from [http://www.unibrain.com/products/visionimg/Fire\\_i\\_BC.htm](http://www.unibrain.com/products/visionimg/Fire_i_BC.htm)
- Vogel, D., & Baudisch, P. (2007). Shift: a technique for operating pen-based interfaces using touch. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 657-666.
- Wang, D.-x., Liu, Q.-b., & Zhang, M.-j. (2011). A multi-touch platform based on four corner cameras and methods for accurately locating contact points. *Multimedia Tools and Applications*, 51(3), 963-982.

- Wang, F., & Ren, X. (2009). Empirical evaluation for finger input properties in multi-touch interaction. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pp. 1063-1072.
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, pp. 94-104.
- Weiss, M., Hollan, J. D., & Borchers, J. (2010). Augmenting Interactive Tabletops with Translucent Tangible Controls. In C. Müller-Tomfelde, *Tabletops - Horizontal Interactive Displays* (pp. 149-170). Springer London.
- Wellner, P. (1991). The DigitalDesk calculator: tangible manipulation on a desk top display. *Proceedings of the 4th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 27-33.
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. (ACM, Ed.) *Commun. ACM*, 87-96.
- Wigdor, D., & Balakrishnan, R. (2005). Empirical investigation into the effect of orientation on text readability in tabletop displays. *Proceedings of the ninth conference on European Conference on Computer Supported Cooperative Work*, pp. 205-224.
- Wigdor, D., Jiang, H., Forlines, C., Borkin, M., & Shen, C. (2009). WeSpace: the design development and deployment of a walk-up and share multi-surface visual collaboration system. *Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*, pp. 1237-1246.

# Annexes

## A. Datasheet LED Siemens SFH485-3

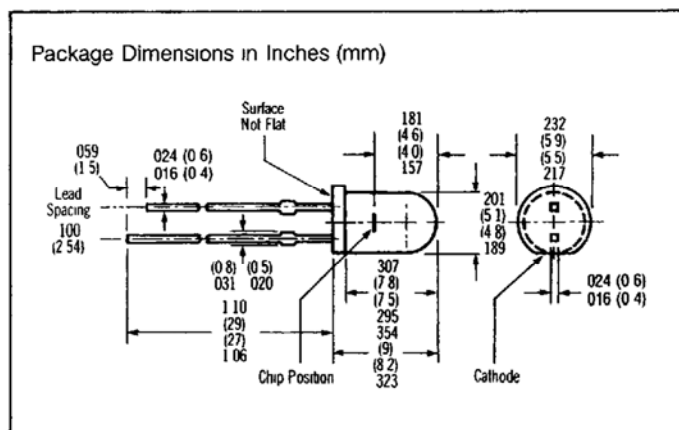
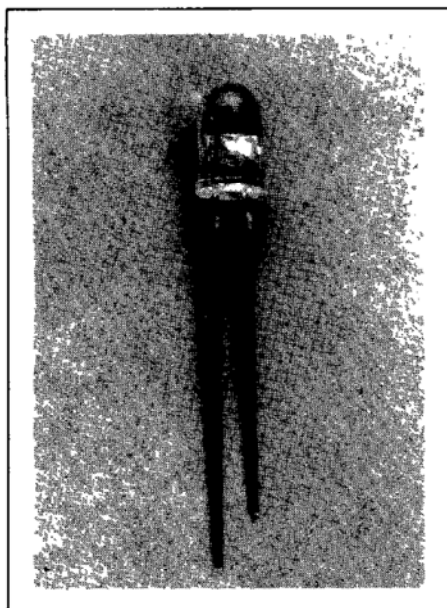
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT 47E D ■ 8235605 0027393 7 ■ SIEG

# SIEMENS

# SFH 485

## GaAlAs INFRARED EMITTER

T-41-13



### Maximum Ratings

Storage temperature	$T_{stg}$	-55 to +100	°C
Soldering temperature at dip soldering ( $\geq 2$ mm distance from the case bottom, soldering time $t \leq 5$ sec)	$T_{sld}$	260	°C
Soldering temperature at iron soldering ( $\geq 2$ mm distance from the case bottom, soldering time $t \leq 3$ sec)	$T_{sld}$	300	°C
Junction temperature	$T_j$	100	°C
Reverse voltage	$V_R$	5	V
Forward current	$I_F$	100	mA
Surge current ( $t = 10$ $\mu$ sec)	$I_{FS}$	25	A
Power dissipation ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ )	$P_{tot}$	200	mW
Thermal resistance*	$R_{thJA}$	375	K/W

### Characteristics ( $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$ )

Wavelength at peak emission at $I_F = 10$ mA	$\lambda_{peak}$	880	nm
Wavelength at peak emission at $I_F = 100$ mA, $t_{pulse} = 20$ ms, Duty cycle = 1/12	$\lambda_{peak}$	883	nm
Wavelength at peak emission at $I_F = 1$ A, $t_{pulse} = 100$ $\mu$ s, Duty cycle = 1/100	$\lambda_{peak}$	886	nm
Spectral bandwidth at $I_F = 10$ mA	$\Delta\lambda$	80	nm
Half angle	$\theta$	$\pm 20$	Deg
Active chip area	A	0.16	mm <sup>2</sup>
Dimensions of active chip area	L x W	0.4 x 0.4	mm
Distance chip surface to case surface	D	4.0 to 4.6	mm
Switching time ( $I_o$ from 10% to 90%, and from 90% to 10% $I_F = 100$ mA)	$t_r, t_f$	0.6/0.5	$\mu$ s
Capacitance ( $V_R = 0$ V, $f = 1$ MHz)	$C_o$	25	pF
Forward voltage ( $I_F = 100$ mA, $t_{pulse} = 20$ ms)	$V_F$	1.5 ( $\leq 1.8$ )	V
( $I_F = 1$ A, $t_{pulse} = 100$ $\mu$ s)	$V_F$	3.0 ( $\leq 3.8$ )	V
Breakdown voltage ( $I_R = 10$ $\mu$ A)	$V_{BR}$	30 ( $\geq 5$ )	V
Reverse current ( $V_R = 5$ V)	$I_R$	0.01 ( $\leq 1$ )	$\mu$ A
Temperature coefficient of $I_o$ or $\Phi_o$	TC	-0.5	%/K
Temperature coefficient of $V_F$	TC	-0.2	%/K
Temperature coefficient of $\lambda_{peak}$	TC	0.25	nm/K

### Radiant Intensity $I_E$ in Axial Direction Measured at a Solid Angle of $\Omega = 0.01$ sr

Group	SFH 485-1	SFH 485-2	SFH 485-3	
Radiant Intensity $I_E$ ( $I_F = 100$ mA $T_p = 20$ ms) ( $I_F = 1$ A $T_p = 100$ $\mu$ s)	16-32 180	25-50 280	$\geq 40$ 340	mW/sr mW/sr
Total Radiant Flux $\Phi_E$ ( $I_F = 100$ mA $T_p = 20$ ms)	21	23	25	mW

### FEATURES

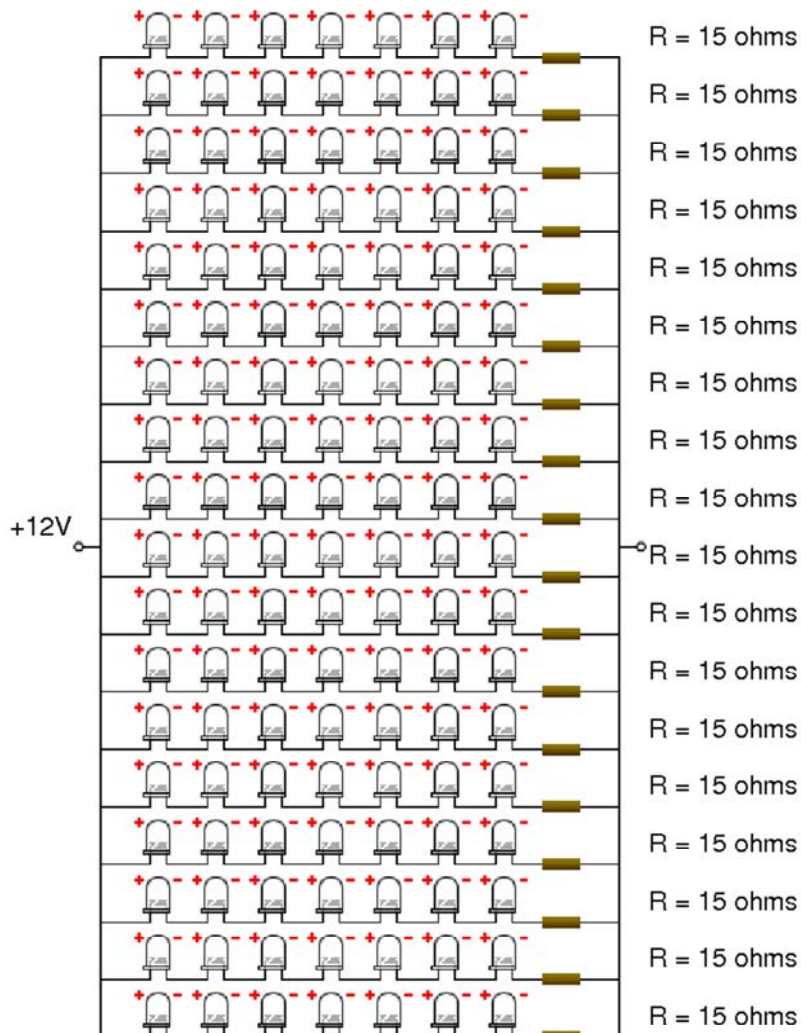
- Radiant Intensity Selections  
SFH485-1 16-32  
SFH485-2 25-50  
SFH485-3  $\geq 40$
- Perfect Spectral Match with Silicon Photodetectors
- Gallium Aluminum Arsenide Material
- Low Cost
- T1 3/4 Package
- Clear Blue Tinted Plastic Lens
- Long Term Stability
- Medium Wide Beam, 40°
- Very High Power, 20 mW Typical at 100 mA
- High Intensity, 40 mW/sr at 100 mA

### DESCRIPTION


SFH 485, an infrared emitting diode, emits radiation in the near infrared range (880 nm peak). The emitted radiation, which can be modulated, is generated by forward flowing current. The device is enclosed in a 5 mm plastic package. Uses for SFH 485 include: IR remote control of color TV receivers, smoke detectors, and other applications requiring very high power, such as IR touch screens.

## B. Schéma électrique du montage des LED

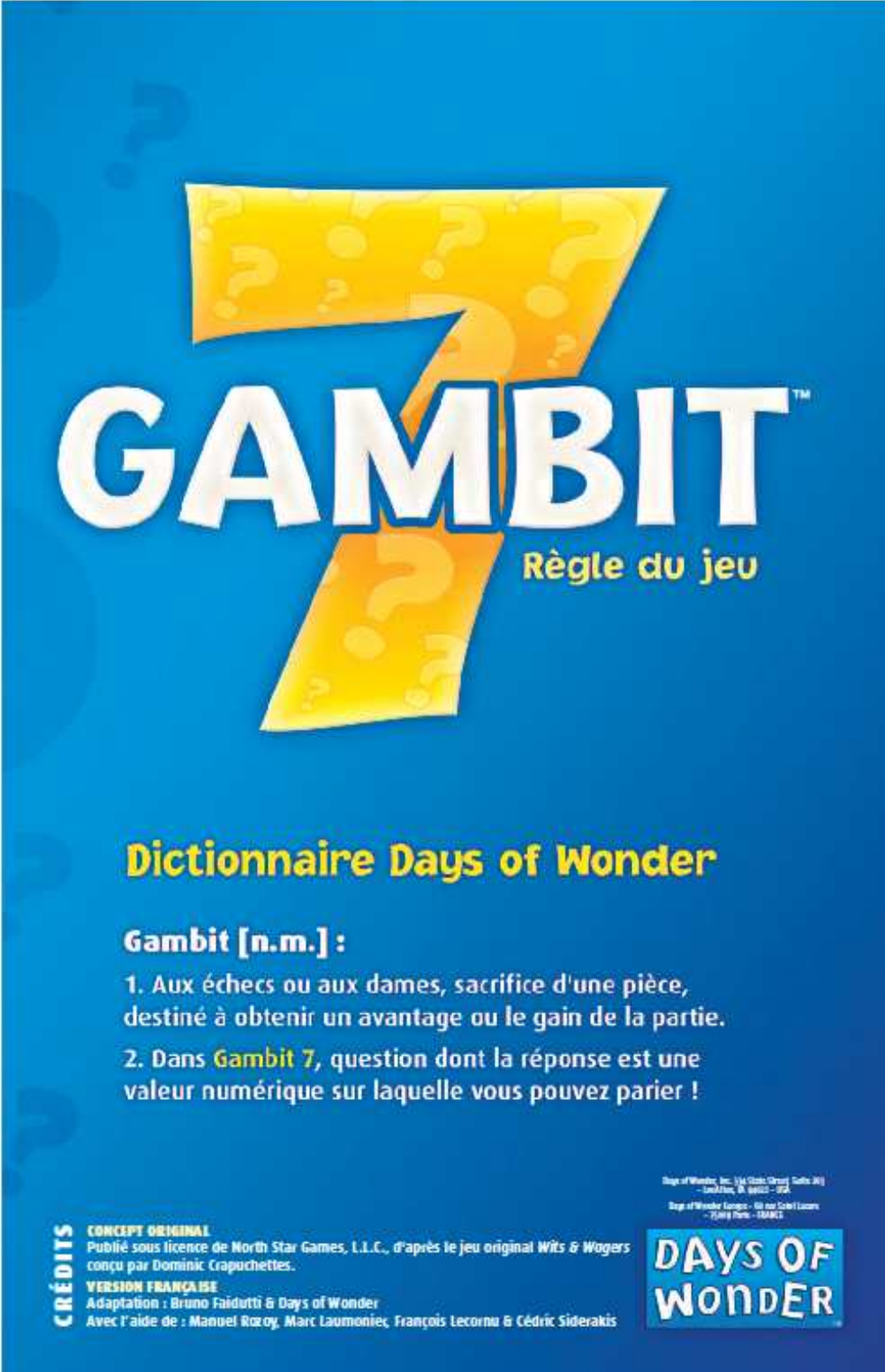
Solution 1: 7 x 18 array uses 126 LEDs exactly



The wizard says: In solution 1:

- each 15 ohm resistor dissipates 150 mW
- the wizard says the color code for 15 is brown green black
- the wizard thinks 1/2W resistors are needed for your application 
- together, all resistors dissipate 2700 mW
- together, the diodes dissipate 18900 mW
- total power dissipated by the array is 21600 mW
- the array draws current of 1800 mA from the source.

## C. Règles du jeu Gambit 7



**GAMBIT™**  
Règle du jeu

**Dictionnaire Days of Wonder**

**Gambit [n.m.] :**

1. Aux échecs ou aux dames, sacrifice d'une pièce, destiné à obtenir un avantage ou le gain de la partie.
2. Dans **Gambit 7**, question dont la réponse est une valeur numérique sur laquelle vous pouvez parier !

**CRÉDITS**

**CONCEPT ORIGINAL**  
Publié sous licence de North Star Games, I.L.C., d'après le jeu original **Wits & Wagers** conçu par Dominic Crapuchettes.

**VERSION FRANÇAISE**  
Adaptation : Bruno Faidutti & Days of Wonder  
Avec l'aide de : Manuel Rozoy, Marc Laumonier, François Lecornu & Cédric Siderakis

Days of Wonder, Inc. 114 State Street, Suite 303  
- Southport, CT 06488 - USA  
Days of Wonder Europe - 60 rue Saint Lazare  
- 75009 Paris - FRANCE

**DAYS OF WONDER™**



## Principe du jeu

Nul besoin d'être un puits de science pour jouer à **Gambit 7™**. Tous les joueurs écrivent simultanément leur réponse à la question posée (le fameux Gambit) et la placent sur le tapis de jeu. Comme toutes les réponses sont des nombres, même ceux qui ne connaissent guère le sujet peuvent tenter de s'approcher de la vérité.

Les joueurs parient ensuite sur la meilleure réponse. Vous êtes sûr de vous ? Misez sur vous-même ! Vous pensez que votre voisine en sait plus ? Misez sur elle !

La bonne réponse est celle qui s'approche le plus de la réponse exacte, sans cependant la dépasser. Son auteur, et les parieurs qui l'ont choisie, marquent des points. Après sept questions, le joueur ayant le score le plus élevé est déclaré vainqueur.

### Plus on est de fous...

On peut certes jouer à **Gambit 7** avec seulement 3 joueurs, mais c'est bien plus drôle et plus intéressant avec davantage de participants. Rassemblez vos amis pour jouer et, si vous êtes plus de 7, constituez des équipes de 2 ou 3 joueurs pour répondre aux questions et parier sur les bonnes réponses.

## Mise en place

◆ Donnez à chaque joueur (ou équipe) une ardoise, 2 jetons de pari et un jeton **Gambit 7** de même couleur, ainsi qu'un feutre effaçable. Donnez également à chacun une serviette en papier ou un essuie-tout pour effacer l'ardoise.



◆ Inscrivez votre nom (ou celui de votre équipe) en haut de votre ardoise.

Chaque joueur (ou équipe) est représentée par une couleur dans la table des scores.



◆ Un joueur est désigné comme Animateur et place le sablier devant lui. L'Animateur doit lire les questions à haute voix et surveiller le sablier durant la partie.



◆ Un joueur est désigné comme Arbitre. Il devra compter les points après chaque tour, et les noter sur l'échelle des scores.

◆ L'Animateur mélange les cartes Question et en pioche sept qu'il place au centre de la table, à côté du tapis de jeu, côté questions visible. Ce sont les sept cartes qui seront utilisées durant la partie.

## Phase 1 : Question et réponses

**Question :** L'Animateur prend la première des sept cartes sur la table, annonce qu'il s'agit de la 1<sup>re</sup> question, et lit à haute voix la 1<sup>re</sup> question de cette carte. Lors des tours suivants, il lira la 2<sup>e</sup> question de la 2<sup>e</sup> carte, la 3<sup>e</sup> question de la 3<sup>e</sup> carte, et ainsi de suite jusqu'à la 7<sup>e</sup> question de la 7<sup>e</sup> et dernière carte. Une fois la question posée, l'Animateur retourne le sablier.

**Réponses :** Chaque joueur (ou équipe) a environ 30 secondes pour noter sa réponse sur son ardoise. La réponse exacte à la question est toujours un nombre. Vous devez chercher à vous rapprocher autant que possible de cette valeur sans la dépasser.

L'éventuelle unité de mesure à utiliser (kg, heures et minutes, %...) est généralement évidente, ou indiquée dans la question. En cas de doute, précisez l'unité utilisée sur votre carte réponse.



*Certaines réponses peuvent changer avec le temps, comme par exemple les records mondiaux. Ces réponses étaient exactes à la date du 30 juin 2008 et la date inscrite sur la carte fait foi en cas de litige.*



## Phase 2 : Révélation et classement des réponses

**Classement des réponses :** Lorsque le sablier est épuisé, chacun révèle sa réponse. L'Animateur classe ces réponses en une colonne, de la plus faible en bas à la plus élevée en haut.

**Réponses identiques :** Si plusieurs cartes indiquent la même réponse, elles sont placées côte à côte.

**Placement des ardoises :** Les ardoises ainsi triées sont ensuite placées à côté du tapis de jeu, la réponse centrale faisant face à la case bleue. Si le nombre de réponses différentes est pair, la case bleue est ignorée et les ardoises réparties également en dessous et au-dessus.



4 réponses différentes

5 réponses différentes

## Phase 3 : Faites vos jeux !

C'est ensuite la phase des paris : l'Animateur retourne à nouveau le sablier, et les joueurs parient alors sur la meilleure réponse en plaçant leurs jetons sur le tapis de jeu, face aux réponses choisies. Ils disposent d'environ 30 secondes pour faire leurs jeux.

### Règles de pari :

- Vous pouvez poser un jeton face à n'importe quelle réponse, pas seulement la vôtre.
- Vous ne pouvez pas poser un jeton sur une case face à laquelle ne se trouve aucune réponse.

- Vous pouvez poser vos deux jetons sur la même case, dans l'espoir de doubler vos gains s'il s'agit de la bonne réponse.
- Vous pouvez aussi poser vos deux jetons face à deux réponses différentes, pour augmenter vos chances de l'emporter.
- Les jetons peuvent être librement déplacés jusqu'à ce que tous les joueurs soient satisfaits de leurs paris.
- Lorsque le sablier est épuisé, rien ne va plus !

**Toutes les réponses sont trop élevées :** Si vous pensez que les réponses figurant sur les ardoises sont toutes trop élevées, y compris la vôtre, vous pouvez poser un ou deux jetons sur la case *Moins que ça*, tout en bas du tapis de jeu.

La case *Moins que ça* !



**Jeton Gambit 7 :** Au lieu de poser ses deux jetons de pari, un joueur peut décider de jouer son jeton Gambit 7. Il prend alors le risque de tout perdre, mais peut aussi multiplier son score actuel par 7 !

Un joueur qui fait le bon pari peut ainsi marquer plus de points qu'il ne l'aurait pu avec ses deux jetons de pari, mais il prend le risque, en cas d'erreur, de perdre tous les points marqués jusqu'ici.

## Phase 4 : Réponse gagnante et score

**Lecture de la bonne réponse :** Lorsque tous les joueurs ont effectué leurs paris, l'Animateur retourne la carte Question et lit, au dos la réponse exacte, ainsi que l'anecdote qui l'accompagne.

**Détermination de la réponse gagnante :** L'ardoise portant la réponse exacte, ou à défaut la plus proche réponse inférieure, est l'ardoise gagnante. Il peut y avoir plusieurs ardoises gagnantes si plusieurs joueurs ont inscrit la même réponse. La case du tapis de jeu située en face de l'ardoise gagnante est la case gagnante.

Si toutes les réponses figurant sur les ardoises des joueurs sont trop élevées, il n'y a pas d'ardoise gagnante, et la case *Moins que ça* est la case gagnante.

L'Arbitre responsable des scores calcule les nouveaux scores des joueurs.





Question : Jimi Hendrix, Janis Joplin, Jim Morrison et Kurt Cobain sont tous morts au même âge. Quel âge avaient-ils ?



28

25

23

Réponses gagnantes

La réponse exacte est 27 ans. 28 est trop élevé, et la réponse gagnante est donc 25. Les deux ardoises marquées « 25 » sont gagnantes, la case bleue est la case gagnante.

### Paris perdants :

- L'Arbitre rend à leurs propriétaires les jetons de paris et les ardoises qui ne sont pas sur la case gagnante.
- Si un joueur a joué son jeton **Gambit 7** sur une autre case que la case gagnante, l'Arbitre lui rend son jeton et remet son score à zéro.

### Paris gagnants :

Si un joueur a un ou ses deux jetons sur la case gagnante, il remporte, pour chaque jeton, les points suivants :

- Si le joueur a été le seul à parier sur cette case ce tour-ci, chacun de ses jetons lui rapporte le nombre de points indiqué en face de l'icône ci-contre (chiffre noir sur fond blanc).



### ou bien

- Si plusieurs joueurs ont parié sur cette case, chacun de leurs jetons leur rapporte le nombre de points indiqué en face de l'icône ci-contre (chiffre blanc sur fond de couleur).



Rouge marque  $2 \times 4 = 8$  points, et Jaune 4 ce tour-ci. Si Jaune n'avait pas misé sur cette case, Rouge aurait marqué à la place  $2 \times 6 = 12$  points.

- Si la case gagnante est **Moins que ça**, chaque jeton sur cette case rapporte 15 points à son propriétaire.
- Si un joueur a joué son jeton **Gambit 7** sur la case gagnante, l'Arbitre multiplie son score actuel par 7, quels que soient les paris des autres joueurs.



Rouge et Jaune marquent des points comme précédemment. Vert avait jusqu'alors 8 points : son score passe aussitôt à  $8 \times 7 = 56$  !

### Ardoises gagnantes :

En plus des paris, le ou les joueurs qui avaient écrit la réponse gagnante remportent un bonus correspondant à la valeur marquée d'une étoile dans la case gagnante.



Ces joueurs reprennent leur ardoise, et on passe au tour suivant.

Le vainqueur est le joueur ayant le score le plus élevé après la septième question. Il peut y avoir des vainqueurs ex-æquo.

## Autres Informations

Il y a dans ce jeu 100 cartes Question différentes de 7 questions chacune. Les questions appartiennent aux 8 catégories suivantes :

1	Économie et société
2	Arts et littérature
3	Géographie et nature
4	Histoire et politique
5	Culture populaire
6	Sciences
7	Sports et loisirs

- La dernière catégorie regroupe les questions inclassables, et remplace aléatoirement certaines questions sur les cartes.

Les cartes d'une partie étant piochées au hasard, et les questions utilisées dépendant de leur ordre, vous avez avec **Gambit 7** plusieurs centaines d'heures de jeu qui vous attendent !



### Days of Wonder en ligne

Votre numéro d'accès en ligne Days of Wonder est :

Ceux qui en veulent plus encore, et souhaitent se tenir informés de la parution de futurs jeux de cartes questions, peuvent consulter [www.gambit7.com](http://www.gambit7.com)

Rendez-vous sur [www.gambit7.com](http://www.gambit7.com) et cliquez sur **Nouveau Joueur** sur la page d'accueil. Vous pouvez aussi découvrir tous nos autres jeux en boîte ou en ligne sur [www.daysof wonder.com](http://www.daysof wonder.com)

[www.daysof wonder.com](http://www.daysof wonder.com)

[www.daysof wonder.com](http://www.daysof wonder.com)

## D. Questionnaire utilisé pour l'évaluation

### Tables interactives et coopératives

Tout d'abord, nous voulons vous remercier d'avoir participé au test du prototype de la table interactive et de l'adaptation du jeu Gambit7 pour celle-ci.

Nous souhaitons que vous remplissiez ce questionnaire afin d'avoir votre avis sur l'interaction que vous venez d'avoir avec une table interactive et coopérative au travers du jeu Gambit7.

L'information que nous obtiendrons grâce à cette enquête sera utilisée dans le mémoire « Tables interactives et coopératives : état de l'art et implémentation » de Damien Glisse sous la direction du Professeur M. Noirhomme des Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix à Namur.

Ce questionnaire comporte d'abord 7 questions sur votre profil utilisateur suivies de 27 affirmations comme dans l'exemple ci-après. Un espace libre vous est laissé pour nous donner votre avis plus général sur l'interaction que vous venez d'avoir avec la table.

*Exemple d'affirmation:*

*Je me sens aussi à l'aise avec une table interactive qu'avec un ordinateur de bureau.*

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

- Vous devez cocher la première case si vous n'êtes pas du tout d'accord avec cette affirmation.
- Vous devez cocher la deuxième case si, dans l'ensemble, vous n'êtes pas d'accord avec cette affirmation.
- Vous devez cocher la troisième case si, dans l'ensemble, vous êtes d'accord avec cette affirmation.
- Vous devez cocher la quatrième case si vous êtes tout à fait d'accord avec cette affirmation.

Pourriez-vous répondre dans l'ordre du questionnaire tout en veillant à ne pas cocher plus d'une case par question.

Nous vous remercions d'avance pour le temps que vous nous accorderez en répondant à ce questionnaire.

Damien Glisse

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.  
Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 1 sur 6

### Profil utilisateur

1. Vous êtes de sexe :

☐ Masculin

☐ Féminin

2. Quel est votre âge ?

.....

3. Vous utilisez un ordinateur :

☐ Tous les jours

☐ Quelques fois par semaine

☐ Quelques fois par mois

☐ Moins d'une  
fois par mois

4. Avez-vous déjà utilisé une application sur écran tactile auparavant ?

☐ Oui

☐ Non

5. Avez-vous déjà utilisé une table interactive et coopérative<sup>1</sup> auparavant ?

☐ Oui

☐ Non

6. Avez-vous déjà joué au jeu Gambit7 auparavant ?

☐ Oui

☐ Non

7. Quelle couleur vous a été attribuée lors de la partie du jeu Gambit7 ?

☐ Rouge

☐ Vert

☐ Mauve

☐ Orange

### Affirmations

#### Table interactive

8. Je me sens aussi à l'aise avec cette table interactive qu'avec un ordinateur de bureau.

☐ Pas du tout d'accord

☐ Pas d'accord

☐ D'accord

☐ Tout à fait d'accord

9. Il est difficile de s'habituer à la table interactive

☐ Pas du tout d'accord

☐ Pas d'accord

☐ D'accord

☐ Tout à fait d'accord

---

<sup>1</sup> Table tactile pouvant être utilisée par plusieurs utilisateurs simultanément

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.*

*Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 2 sur 6



10. Je conseillerais les tables interactives à n'importe qui.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

11. La table m'a paru trop petite pour jouer à plusieurs.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

12. J'aurais préféré avoir une table ronde plutôt qu'une table rectangulaire.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

13. Le fait d'avoir utilisé la table debout ne m'a pas gêné.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

#### Collaboration

14. Les tables interactives et coopératives sont une bonne solution pour réaliser du travail collaboratif.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

15. La table m'a donné envie d'utiliser des applications coopératives dans le futur.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

16. J'aurais préféré que le jeu se déroule sur un ordinateur traditionnel plutôt que sur une table collaborative.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

17. Lorsqu'il fallait réaliser une tâche unique mais commune (choix d'une carte de question au début du jeu), nous avons dû discuter oralement pour décider qui allait la réaliser.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

18. Il y a eu quelques conflits lorsque nous interagissions dans une zone commune (ex : tri des questions ou phase des paris sur les questions).

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.*

*Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 3 sur 6

### Interactions avec la table

19. Le fait d'avoir utilisé le doigt plutôt qu'une souris m'a paru plus facile.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

20. J'ai senti mon bras fatigué après avoir utilisé la table.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

21. Pour saisir du texte, le clavier « virtuel » m'a paru plus facile qu'un clavier « matériel ».

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

22. L'utilisation d'objets tangibles<sup>1</sup> m'a paru plus naturelle que l'utilisation d'éléments virtuels.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

23. J'ai remarqué un décalage entre le moment où j'interagis physiquement avec la table et le moment où le système prend en considération cette interaction.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

24. Je peux contrôler la table interactive avec facilité

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

### Utilisation du son

25. L'utilisation du son m'a plus gêné qu'aidé.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

26. L'utilisation du son m'a donné l'impression d'une meilleure immersion dans le jeu.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

27. Parfois j'aurais voulu réécouter les instructions sonores car je n'avais pas bien compris.

☐ Pas du tout d'accord    ☐ Pas d'accord    ☐ D'accord    ☐ Tout à fait d'accord

---

<sup>1</sup> Il s'agit des jetons que vous avez utilisés pour parler sur vos réponses ou celles des autres joueurs.

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.*

*Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 4 sur 6

28. L'utilisation du son m'a demandé plus de concentration

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

#### Déroulement du jeu

29. Si vous n'avez pas utilisé le bouton d'aide durant le jeu, passez à la question 30.  
Les instructions fournies par le bouton d'aide ne m'ont pas été utiles.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

30. Le fait de devoir attendre à plusieurs reprises les autres joueurs ne m'a pas dérangé.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

31. Le fait qu'on ne puisse pas revenir en arrière dans le jeu m'a gêné.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

32. Dans le jeu, parfois je ne sais pas comment poursuivre

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

33. J'ai éprouvé des difficultés à lire les éléments textuels sur la table dues à une mauvaise orientation de ceux-ci.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

34. Jouer sur table interactive me donne plus de satisfaction que de jouer à un jeu de société traditionnel.

☐ Pas du tout d'accord      ☐ Pas d'accord      ☐ D'accord      ☐ Tout à fait d'accord

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.*

*Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 5 sur 6

### Votre avis

Si vous le désirez, vous pouvez nous donner ci-dessous votre avis et remarques sur l'interaction que vous venez d'avoir avec la table interactive et coopérative au travers du jeu Gambit7.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Merci pour votre participation.

*N.B. : L'information que vous fournissez reste strictement confidentielle.*

*Nous ne conservons aucune information qui pourrait vous identifier en tant que personne.*

Page 6 sur 6